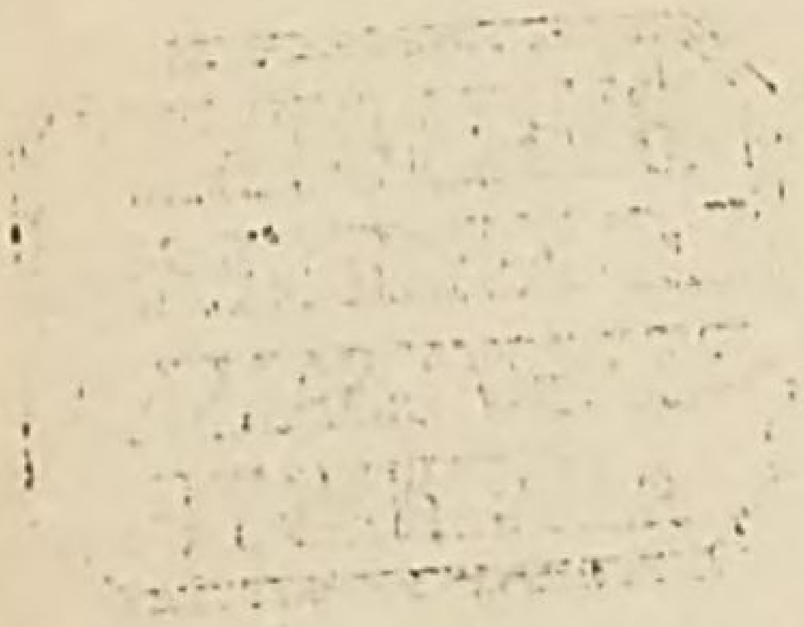
BHS I C 256 a-3

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe I4
B.-Nr. 256



HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

FÜR DEN GEBRAUCH IM BETRIEBE WIE ZUR BENUTZUNG
BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET.

VON

A. LEDEBUR,

BERGRATH UND PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

ZWEITE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

DRITTE ABTHEILUNG:

DAS SCHMIEDBARE EISEN UND SEINE DARSTELLUNG.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL
BERGW.U.SALINEN
ADMINISTR.

LEIPZIG,
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1894.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Inhaltsverzeichniss.

Dritte Abtheilung.

Das schmiedbare Eisen und seine Darstellung.

Seite

I. Eintheilung, Eigenschaften und Prüfung des schmiedbaren Eisens . 639
1. Eintheilung . 639
2. Das Gefüge . 640
3. Die Schmiedbarkeit und Dehnbarkeit 643
Rothbruch 648. Faulbruch 649. Blaubruch 649.
4. Die Schweissbarkeit 650
5. Die Schmelztemperatur 656
6. Die Härte und Härtbarkeit. Das Härten und Anlassen 657
7. Die Festigkeitseigenschaften 664
a) Allgemeines . 664
b) Einfluss des Herstellungsverfahrens 666
c) Einfluss der chemischen Zusammensetzung 667
Kohlenstoff 668. Silicium 668. Mangan 669. Chrom 670. Wolfram 671. Nickel 671. Aluminium 672. Phosphor 673. Kupfer, Schwefel, Arsen 674.
d) Einfluss der mechanischen Bearbeitung 675
e) Einfluss des Ablöschens (Härtens) 680
f) Einfluss des Ausglühens 683
g) Beizbrüchigkeit 686
h) Einfluss der Form und Grösse des beanspruchten Querschnitts . 688
i) Einfluss wiederholter Erschütterungen 689
k) Einfluss der Temperatur 691
8. Das Verbrennen des schmiedbaren Eisens 694
9. Die Prüfung des schmiedbaren Eisens 697
a) Chemische Untersuchung 698
b) Schmiedeprobe 699
c) Kaltbiegeprobe 701
d) Schlagprobe . 702
e) Zerreissprobe 702
f) Härtungsprobe 703
g) Aetzprobe . 705
Literatur . 707

Seite

II. Die Maschinen für die mechanische Veredlung und Formgebung . 710
1. Die Hämmer . 711
a) Stirnhämmer 713
b) Aufwerfhämmer 714
c) Schwanzhämmer 717
d) Dampfhämmer 719
e) Die Arbeit des Schmiedens 725
2. Die Pressen . 728
a) Allgemeines 728
b) Die Einrichtung der Pressen 729
c) Die Arbeit des Pressens 731
3. Die Walzwerke . 731
a) Allgemeines 731
b) Die einzelnen Theile des Walzwerkes 740
Die Walzen 740. Die Walzenständer nebst Zubehör 741. Walztische und Ueberhebvorrichtungen 754. Kupplungen 757. Die Getriebe oder Kammwalzen nebst Ständern 758. Das Schwungrad 759. Sohlplatten und Unterbau 759.
c) Die Kalibrirung der Walzen 760
Allgemeines 760. Abnahmecoëfficient 761. Entwerfen der Kaliber 763. Beispiele (Spitzbogenkaliber, Rundkaliber u. a.) 765. Kaliber für Dreiwalzen 767. Periodische und excentrische Kaliber 769. Schrumpfmaass 770.
d) Die Universalwalzwerke 770
e) Die Walzenzugsmaschinen und der Arbeitsverbrauch beim Walzen 773
4. Die Luppenquetschen und Luppenmühlen 774
Literatur . 776

III. Die Darstellung des Schweisseisens 778
1. Allgemeines . 778
Schlackengehalt 779. Unmittelbare und mittelbare Darstellung 780.
2. Die Schweisseisendarstellung aus Erzen 781
a) Der Rennfeuerbetrieb 782
b) Der Stückofenbetrieb 785
c) Einige neuere Verfahren 789
Darstellung von Schweisseisen aus Erzen im Flammofen 789. Darstellung von Eisenschwamm durch reducirendes Glühen der Erze 790.
3. Der Frischfeuerbetrieb 791
a) Einleitung . 791
b) Das Frischfeuer 794
c) Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse 795
d) Der chemische Verlauf des Frischfeuerschmelzens 800
e) Die Erzeugnisse des Frischfeuerbetriebes 803
4. Das Puddeln in feststehenden Oefen 804
a) Einleitung . 804
b) Der Puddelofen 805
Einfache Puddelöfen 806. Doppelpuddelöfen 813.
c) Das Arbeitsverfahren 816
d) Die Puddelmaschinen 823
e) Der chemische Verlauf des Puddelns 825

Seite
f) Die Betriebsergebnisse 830
g) Die Erzeugnisse . 832
5. Das Puddeln in Drehöfen 832
a) Einleitung . 832
b) Die Drehpuddelöfen 834
Literatur . 835

IV. Die Darstellung des Flusseisens 838
1. Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Flusseisens und die Erzielung dichter Güsse . 838
2. Die Giessvorrichtungen 852
3. Die Gussformen . 858
4. Die Flusseisendarstellung aus Erzen 863
5. Die Versuche zur Flusseisendarstellung im Kupolofen 865
6. Die Tiegelstahldarstellung 865
a) Einleitung . 865
b) Die Tiegel und Schmelzöfen 867
c) Das Arbeitsverfahren 874
d) Der chemische Verlauf des Tiegelstahlschmelzens 879
e) Der Tiegelstahl . 884
7. Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen) 886
a) Einleitung . 886
b) Die Birne oder der Converter 894
Allgemeine Einrichtung 894. Birnen für die Kleinbessemerei 900. Rauminhalt und Abmessungen 902. Herstellung und Dauer des Futters 904. Die Zahl der Birnen und ihre Anordnung im Gebäude 906.
c) Die Gebläse . 910
d) Das Arbeitsverfahren und der äussere Verlauf des Windfrischens 912
e) Der chemische und physikalische Verlauf des Windfrischens . 922
Veränderungen der Zusammensetzung des Eisens 923
Bessemerverfahren mit saurem Futter 923. Basisches Verfahren 928.
Veränderungen der Zusammensetzung der Schlacken 932
Bessemerverfahren mit saurem Futter 933. Basisches Verfahren 935.
Veränderungen der Zusammensetzung der Gase 936
f) Die Betriebsergebnisse 940
g) Die Erzeugnisse . 942
Das Metall . 942
Die Schlacken . 944
8. Das Martinverfahren 945
a) Einleitung . 945
b) Der Martinofen . 947
c) Das Arbeitsverfahren 955
d) Der chemische Verlauf des Martinschmelzens 960
Veränderungen der Zusammensetzung des Eisens 960
Veränderungen der Zusammensetzung der Schlacken 964
e) Die Betriebsergebnisse 968
f) Die Erzeugnisse . 971
Das Metall . 971
Die Schlacken . 973
Literatur . 974

Seite

V. **Das Glühfrischen (Darstellung von schmiedbarem Guss, Temperstahl, Glühstahl)** . 978
1. Allgemeines . 978
2. Die erforderliche Zusammensetzung des Roheisens und das Schmelzen 981
3. Die Temperöfen nebst Zubehör 983
4. Das Arbeitsverfahren 985
5. Der chemische Verlauf des Glühfrischens 986
6. Die Erzeugnisse . 990
Literatur . 991

VI. **Die Darstellung des Cementstahles** 992
1. Allgemeines . 992
2. Der Cementirofen 993
3. Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse 996
4. Der chemische Verlauf des Cementirens 998
5. Das Erzeugniss . 1002
Literatur . 1003

VII. **Die Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens** 1003
1. Einleitung . 1003
2. Die Verarbeitung des Schweisseisens 1004
a) Allgemeines . 1004
b) Die Schweissfeuer und ihr Betrieb 1007
c) Die Schweissöfen und ihr Betrieb 1009
3. Die Verarbeitung des Flusseisens 1014
a) Allgemeines . 1014
b) Die Wärmöfen 1015
c) Die Ausgleichgruben 1020
4. Beispiele der Verarbeitung des Schweiss- und Flusseisens 1023
a) Darstellung des Gärbstahles 1023
b) Darstellung des Grobeisens 1024
c) Darstellung des Feineisens und Walzdrahtes 1025
d) Darstellung des Bauwerkeisens 1026
e) Darstellung der Eisenbahnschienen 1027
f) Darstelluug der Bleche 1031
g) Darstellung der Panzerplatten 1034
5. Die Maschinen zur Zertheilung der Arbeitsstücke 1035
a) Hebelscheeren 1035
b) Parallelscheeren 1037
c) Kreisscheeren 1039
d) Kreissägen . 1039
Literatur . 1041

DRITTE ABTHEILUNG.

DAS SCHMIEDBARE EISEN

UND

SEINE DARSTELLUNG.

I. Eintheilung, Eigenschaften und Prüfung des schmiedbaren Eisens.

1. Eintheilung.

Wie schon auf Seite 5 besprochen wurde, lässt sich fast alles schmiedbare Handelseisen in Schweisseisen und Flusseisen eintheilen. Ersteres wird im ungeschmolzenen, aber stark erweichten Zustande gewonnen und ist mit Schlacke durchsetzt, welche bei dem Darstellungsverfahren gebildet wurde und zwischen den Eisenkörnchen zurückblieb; letzteres erfolgt im flüssigen Zustande und ist schlackenfrei.

Sowohl das Schweisseisen als das Flusseisen lassen durch verschiedene Verfahrungsweisen sich erzeugen und werden nicht selten dem Entstehungsverfahren gemäss benannt. Die wichtigsten Arten des Schweisseisens sind das Frischfeuereisen, gewöhnlich Holzkohleneisen genannt, und das Puddeleisen; die wichtigsten Arten des Flusseisens das Bessemer- und Thomaseisen, das Martineisen und der Tiegelstahl.

Ausserdem giebt es jedoch einige Arten schmiedbaren Eisens, welche ihrer Entstehung und ihrer Beschaffenheit gemäss weder unmittelbar dem Schweisseisen, noch dem Flusseisen zugerechnet werden können, obgleich sie mitunter als Zwischenerzeugnisse zur Darstellung der einen oder andern dieser Eisengattungen benutzt oder auch aus ihnen erst durch ein nachfolgendes Verfahren erzeugt wurden.

Glüht man z. B. ein silicium- und manganarmes Roheisen, ohne es zu schmelzen, in Berührung mit sauerstoffabgebenden Körpern (Eisenoxyden, atmosphärischer Luft), so wird, wie schon auf Seite 256 erwähnt wurde, der Kohlenstoff verbrannt und das Roheisen in schmiedbares Eisen umgewandelt (schmiedbarer Guss, Glühstahl).

Glüht man aber kohlenstoffarmes schmiedbares Eisen mit Kohle, so nimmt es Kohlenstoff auf und wandelt sich dadurch in Cementstahl um (Seite 269).

Weniger scharf als diese Eintheilung des schmiedbaren Eisens ist die Unterscheidung des Stahles vom Schmiedeeisen, wie auf Seite 7 erläutert wurde. Wie es in Deutschland üblich ist, soll in Folgendem unter der Bezeichnung Stahl nur ein kohlenstoffreicheres, deutlich härtbares Eisen verstanden werden, dessen Gegensatz das nicht härtbare Schmiedeeisen bildet; die Ausdrücke Schweisseisen und Flusseisen dagegen sind allgemeine Bezeichnungen, welche

ebensowohl auf kohlenstoffreicheres, härtbares als auf kohlenstoffärmeres, nicht deutlich härtbares schmiedbares Eisen bezogen werden können.

2. Das Gefüge.

Das eigentliche Gefüge des schmiedbaren Eisens ist krystallinisch-körnig. Alles Flusseisen besitzt ein deutlich erkennbares krystallinisch-körniges Gefüge, und auch bei dem Schweisseisen lässt sich, wenn der Bruch in richtiger Weise bewirkt wird, das krystallinisch-körnige Gefüge fast immer erkennen.

Die Grösse der Absonderungsflächen (des Kornes) hängt theils von der chemischen Zusammensetzung, theils von der vorausgegangenen Bearbeitung des Eisens ab. Kohlenstoff, Mangan, Wolfram erzeugen ein feinkörniges, Phosphor ein grobkörniges Gefüge. Daher ist Stahl feinkörniger als Schmiedeeisen, und mit seiner Härte nimmt die Feinheit des Gefüges zu. Bei den härteren Stahlsorten (Werkzeugstahl) sind die einzelnen Absonderungsflächen gewöhnlich so klein, dass sie mit unbewaffnetem Auge nicht mehr sich erkennen lassen und die Bruchfläche ein sammetartiges, glanzloses Aussehen annimmt.

In Rücksicht auf den erwähnten Einfluss des Phosphors auf das Gefüge, sowie auf den Umstand, dass Phosphor Kaltbruch erzeugt (Seite 290), pflegt man ein grobkörniges Gefüge des schmiedbaren Eisens als Zeichen des Kaltbruches zu betrachten. Das Merkmal muss jedoch, wenn es nicht zu Trugschlüssen führen soll, mit Vorsicht benutzt werden. Auch ein sehr kohlenstoffarmes und von sonstigen Beimengungen freies Eisen *kann*, sofern es in entsprechender Weise abgebrochen wurde, ein ziemlich grobkörniges Gefüge zeigen, während es, seiner Zusammensetzung entsprechend, sich durch grosse Zähigkeit auszeichnet (schwedisches Frischfeuereisen). Grobkörniges kaltbrüchiges, d. h. phosphorreiches Eisen pflegt sich durch stärkeren Glanz und bläuliche Farbe auf der Bruchfläche von dem kohlenstoffarmen und deshalb ebenfalls grobkörnigeren Eisen, dessen Farbe mehr gelblich erscheint, zu unterscheiden. Nur ein geübtes Auge vermag indess diese Unterscheidungsmerkmale wahrzunehmen. Immerhin ist jenes grobkörnige Eisen mit geringem Phosphorgehalte selten, und in den allermeisten Fällen ist daher die erwähnte Beziehung richtig.

Durch mechanische Bearbeitung des Eisens im ungeschmolzenen Zustande (Hämmern, Walzen) wird das Gefüge feinkörniger, und zwar in um so stärkerem Maasse, je niedriger die Temperatur war, in welcher die Bearbeitung vorgenommen wurde. Ein kohlenstoffarmes Eisen zeigt, wenn es zu Blöcken gegossen wurde, oft ein so grob-krystallinisches Gefüge, dass man es als blättrig-krystallinisch statt körnig-krystallinisch bezeichnen könnte; in der Nähe der Abkühlungsflächen gestalten sich die blättrigen Absonderungsflächen zu strahlenartigen Bildungen, welche rechtwinklig gegen die Abkühlungsflächen gerichtet sind und von diesen allmählich nach innen verlaufen. Dasselbe Eisen aber, in heller Rothgluth zu einem Stabe von einigen Centimetern Durchmesser ausgestreckt, nimmt ein vollständig anderes, ziemlich feinkörniges Gefüge an, dessen Absonderungsflächen um so feiner sind,

je dünner der Querschnitt des fertigen Stabes ist und je tiefer die Temperatur desselben bei der Beendigung der Arbeit gesunken war. Auch ein längeres Ausglühen gegossener Gegenstände in einer helle Rothgluth nicht übersteigenden Temperatur veranlasst schon an und für sich eine ähnliche Umwandlung des Gefüges: es wird feinkörniger und gleichmässiger. Durch Erhitzung auf eine dem Schmelzpunkte nahe liegende Temperatur — Weissgluth — ohne darauf folgende Bearbeitung wird dagegen das Gefüge eines durch fortgesetzte Bearbeitung feinkörnig gewordenen Stabes wieder gröber.

Eine eigenthümliche Gefügebildung, welche man **sehniges Gefüge** nennt, zeigt sich bei kohlenstoffarmem und zugleich phosphorarmem Schweisseisen, wenn ein Stab dieses Eisens durch eine allmählich gesteigerte Kraft (z. B. auf der Festigkeitsprüfungsmaschine) zerrissen wird, oder auch, wenn man ihn auf der einen Seite mit einem Meissel einkerbt und nun nach der entgegengesetzten Seite bis zum Eintreten des Bruches umbiegt. Man erblickt alsdann zahlreiche neben einander liegende Fasern oder Sehnen, in derjenigen Richtung verlaufend, in welcher bei der Formgebung die letzte Streckung stattfand, bei einem Stabe also in seiner Längsrichtung. Ihre Entstehung ist eine Folge der Verschiebungen, welche die einzelnen Krystalle bei der Streckung in einer Temperatur erlitten, welche bereits tiefer lag als die, bei welcher eine völlige, dem Schmelzen vorausgehende Erweichung eintritt.

Diese Verschiebungen finden zunächst in der Weise statt, das Krystalle, welche vor dem Strecken über einander lagen, schräge Stellung gegen einander erhalten (vergl. unten Fig. 194); solcherart bilden sich in der Richtung der Streckung Fasern aus zusammenhängenden Krystallen, die aber, ähnlich wie die Fasern oder Schnüre eines Taues, mit den Nachbarfasern geringeren Zusammenhang besitzen. Daher ist die Festigkeit sehnigen Eisens in der Querrichtung merklich geringer als in der Richtung der Fasern.

Bei jener Biegung des erkalteten Eisens zum Zwecke des Abbrechens oder bei dem ganz allmählichen Abreissen, wobei die eine Faser gewöhnlich stärker als die andere gestreckt wird, tritt nun eine fernere Verschiebung der Fasern über einander ein, und die Fasern selbst werden erst hierdurch dem Auge blossgelegt. Bricht man den Stab dagegen, ohne ihn zu biegen, kurz ab, indem man ihn nicht einseitig einkerbt, sondern ringsherum einfeilt und dann einen scharfen kurzen Schlag ausführt, so gewahrt man auf der entstehenden rechtwinklig gegen die Fasern gerichteten Bruchfläche eben nur die äusseren Begrenzungsflächen der neben einander liegenden Krystalle, also ein körniges Gefüge oder höchstens an einigen Stellen eine Andeutung des sehnigen.

Je weniger allmählich der Uebergang zwischen dem festen und völlig erweichten Zustande des Eisens stattfindet, desto weniger ist das Eisen zur Sehnebildung befähigt. Daraus erklärt sich, dass weder kohlenstoff- noch phosphorreiches Eisen sehniges Gefüge annehmen.

Ein Schlackengehalt erleichtert die Entstehung sehnigen Eisens. Die Schlacke ist in der Temperatur, bei welcher die Sehnebildung erfolgt, flüssig und befördert durch ihre Einlagerung das Gleiten der

Krystalle über einander. Daher zeigt auch das kohlenstoffärmste Flusseisen höchstens Andeutungen der Sehnebildung, wenn es stark gestreckt und in der oben angegebenen Weise behandelt wird.

Gewalztes Eisen neigt stärker zur Sehnebildung als gehämmertes infolge des Umstandes, dass beim Walzen jene Verschiebungen in der Längsrichtung, welche die Sehnebildung veranlassen, in stärkerem Maasse stattfinden als beim Hämmern.

Sehr dicke Eisenstäbe zeigen im Innern niemals sehniges Gefüge. Sie werden bei der Bearbeitung weniger abgekühlt, verharren in einem weicheren Zustande als dünnere, und die Krystalle bewahren deshalb auch in der Querrichtung ihren vollständigen Zusammenhang.

Sehniges Eisen lässt sich durch Erhitzen zur Weissgluth und vorsichtiges Bearbeiten mit dem Hammer in körniges Eisen umwandeln.

Bei gutem sehnigem Eisen besitzen die einzelnen Sehnen bedeutende Länge; kurzsehniges Eisen ist minderwerthig. Man pflegt einen Schwefelgehalt oder auch übermässigen Schlackengehalt als die Veranlassung zur Entstehung kurzsehnigen Eisens zu betrachten.

Da die Sehnebildung, wie erwähnt, überhaupt nur in kohlenstoff- und phosphorarmen Eisensorten auftritt, lässt sie auf Leichtschmiedbarkeit, Leichtschweissbarkeit und Zähigkeit des betreffenden Eisens schliessen. Falsch aber würde der Schluss sein, dass alles Eisen, von welchem die genannten Eigenschaften verlangt werden, nun auch bei dem Bruche sehniges Gefüge erkennen lassen müsse.

Nicht geeignet ist sehniges Schweisseisen für solche Verwendungen, wo ein Aufsplittern stattfinden kann: für Anfertigung von Draht, Nägeln, Triebwellen und anderem mehr.

Nicht selten gewahrt man auf der Bruchfläche gröberer Gegenstände aus Schweisseisen sehniges Gefüge neben grobkörnigem und feinkörnigem. Eine solche ungleichmässige Beschaffenheit ist für das Verhalten des Eisens bei der Beanspruchung auf Festigkeit nicht günstig.

Wenn das Aussehen des Gefüges schmiedbaren Eisens zu Schlussfolgerungen auf die Eigenschaften des Eisens in solchen Fällen benutzt werden kann, wo die Nebenumstände bekannt sind, unter welchen das Gefüge entstand, kann es andrerseits leicht zu einer irrigen Beurtheilung des Eisens führen, sofern jene Kenntniss der Nebenumstände fehlt. Die Art und Weise der Bearbeitung beeinflusst, wie schon erwähnt wurde, in allen Fällen die Beschaffenheit des Gefüges, und beim sehnigen Schweisseisen bedingt ausserdem, wie aus dem Gesagten hervorgeht, der Vorgang beim Abbrechen das Aussehen der Bruchfläche. Verursacht eine heftige Stosswirkung ein plötzliches Abbrechen schweisseiserner Bautheile, Kettenglieder, Wagenachsen und ähnlicher Gegenstände, so zeigt die entstehende Bruchfläche häufig ein grobkörniges Gefüge auch dann, wenn die Gegenstände aus gleichmässig sehnigem Eisen gefertigt waren, und in zahlreichen Fällen hat dieses Aussehen der Bruchfläche schon zu einer unrichtigen Beurtheilung der Beschaffenheit des Eisens geführt.

3. Die Schmiedbarkeit und Dehnbarkeit.

Ein Körper heisst schmiedbar, wenn er befähigt ist, im erhitzten, aber ungeschmolzenen Zustande bleibende Formveränderungen zu ertragen, ohne zertrümmert zu werden. Der Zweck der Erhitzung hierbei ist eine Verringerung seines Widerstandes gegen jene Formveränderung, seiner Härte. Je weniger mechanische Arbeit erforderlich ist, um in jenem erhitzten Zustande eine bestimmte Formveränderung hervorzubringen, und je weniger leicht andrerseits der Körper bei einer stattfindenden Formveränderung beschädigt wird, desto leichter schmiedbar ist er.

Eine bleibende Formveränderung eines Körpers tritt erst ein, wenn seine Elastizitätsgrenze bei der Bearbeitung überschritten wird; Beschädigung oder Zertrümmerung erfolgt, wenn das Maass der wirksamen Kraft seine Festigkeit übersteigt. Je weiter die Elastizitätsgrenze und Festigkeitsgrenze des Körpers in der Bearbeitungstemperatur von einander entfernt sind, je niedriger die erste und je beträchtlicher die letztere ist, desto grösser ist das Maass seiner Schmiedbarkeit.[1])

Nicht immer steigert sich die Schmiedbarkeit im geraden Verhältnisse mit der Temperatur. Bei gewissen Arten des schmiedbaren Eisens fallen z. B. in einer bestimmten höheren Temperatur, gewöhnlich dunkler oder heller Rothgluth, die Werthe für Elastizitätsgrenze und Festigkeit so nahe zusammen, dass schon Zertrümmerung eintritt, sobald die erstere überschritten wird; das Metall ist in dieser Temperatur nicht schmiedbar, es ist rothbrüchig. Häufig aber ist die Schmiedbarkeit vorhanden ebensowohl, wenn die Temperatur unter jenem gefährlichen Punkte bleibt, als wenn sie darüber hinaus gesteigert wird.

Reines Eisen ist leicht schmiedbar. Im Allgemeinen verringert sich die Schmiedbarkeit, wenn der Gehalt an Fremdkörpern zunimmt. Nicht alle fremden Bestandtheile des Eisens jedoch benachtheiligen in gleich starkem Maasse die Schmiedbarkeit.

Mit zunehmendem Gehalte an Kohlenstoff verringert sich die Schmiedbarkeit allmählich und ziemlich gleichmässig. Bei 2,3 Hunderttheilen Kohlenstoff ist sie vollständig verschwunden; das Eisen ist Roheisen geworden.

Weniger kräftig wirkt Silicium. Mrázek fand, dass ein fast kohlenstofffreies Siliciumeisen mit 7,42 Hunderttheilen Silicium in Weissgluth schmiedbar, in Rothgluth mit Vorsicht schmiedbar war[2]); nach Hadfield waren Versuchsstäbe mit einem Siliciumgehalte bis zu 5,5 Hunderttheilen neben 0,14 bis 0,26 Hunderttheilen Kohlenstoff in Gelbgluth gut schmiedbar, während Proben mit 7,2 und 8,8 Hunderttheilen Silicium in Gelbgluth unter dem Hammer in Stücke zerfielen.[3])

1) Schmiedbarkeit ist Dehnbarkeit oder Geschmeidigkeit in höherer Temperatur. Letztere Ausdrücke umfassen den weiteren, Schmiedbarkeit den engeren Begriff. Auch bei jenen Eigenschaften spielen Elastizitätsgrenze und Festigkeit die nämliche Rolle.

2) Jahrbuch der österr. Bergakademieen, Band XX, Seite 408; auch „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1002.

3) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1889, II, Seite 222 in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1002.

Im scheinbaren Widerspruche hierzu steht die unleugbare Thatsache, dass kohlenstoffarmes Flusseisen rothbrüchig zu sein pflegt, wenn man ihm zur Sauerstoffentziehung einen Siliciumzusatz (als Siliciumeisen) gab, ohne zugleich einen andern Körper (Mangan) zuzusetzen, welcher ebenfalls zerstörend auf das gelöste Eisenoxydul einwirkt. Schon bei 0,1 Hunderttheil Silicium oder noch weniger will man in derartigen Fällen Rothbruch beobachtet haben. War nun das Metall vor dem Siliciumzusatze sauerstoffreich und die Menge des zugefügten Siliciums verhältnissmässig gering, so ist die Ursache des Rothbruches nicht in dem im erstarrten Metalle noch anwesenden Siliciumgehalte, sondern in dem noch unzerlegt gebliebenen Eisenoxydulgehalte zu suchen [1]; andrerseits ist es kaum zweifelhaft, dass Flusseisen auch Kieselsäure, welche unter der Einwirkung zugesetzten Siliciums auf seinen Eisenoxydulgehalt entstanden war, zurückzuhalten vermag, sei es im gelösten Zustande, sei es in mechanischer feiner Vertheilung [2], und dass diese zurückbleibende Kieselsäure, nicht das Silicium an und für sich, schon in ziemlich kleinen Mengen Rothbruch hervorruft. Pourcel fand, dass, als er ein Flusseisenstück im Chlorstrome erhitzte, dessen Sauerstoffgehalt man nur durch Zusatz von Siliciumeisen zu beseitigen gesucht hatte, ein förmliches Netzwerk, von der Form des benutzten Eisenstückes und angeblich aus Eisensilikat bestehend, zurückblieb; setzte man neben dem Silicium auch Mangan zu, so hinterblieb kein Rückstand.[3] Auch Turner fand Kieselsäure im Flusseisen, welches einen Zusatz von Siliciumeisen ohne Mangan erhalten hatte.[4] Die Frage, welche Rolle das Mangan bei diesem Vorgange spielt, harrt noch der zuverlässigen Erklärung. Sie kann entweder auf dem Umstande beruhen, dass Mangan überhaupt die Oxydation des Siliciums hindert (Seite 285, 622) und Manganoxydul leichter als Kieselsäure ausscheidet; oder auch auf der Bildung von Mangansilikat, welches weniger als das von Pourcel angeblich beobachtete Eisensilikat im Eisen zurückgehalten wird.

Der im gewerblich dargestellten Eisen vorkommende Phosphorgehalt (fast immer weniger als 0,4 Hunderttheile) übt auf die Schmiedbarkeit keinen merkbaren Einfluss aus. Nach mehrfach angestellten Beobachtungen [5]) pflegt Eisen mit ungefähr 1 Hunderttheil Phosphor in Roth- und Weissgluth noch ziemlich gut bearbeitbar zu sein, sofern es sonstige, der Schmiedbarkeit nachtheilige Körper nicht enthält; bei welchem Phosphorgehalte die Schmiedbarkeit völlig aufhört, wurde bislang nicht ermittelt.

Als der gefährlichste Feind der Schmiedbarkeit in Rothgluth gilt

1) Z. B. bei Versuchen, welche durch Turner u. A. angestellt und deren Ergebnisse im Journal of the Chemical Society 1887, p. 129, daraus in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 297 mitgetheilt wurden.

2) Man möge sich daran erinnern, dass auch Ausscheidungen — Niederschläge — die wir in kaltflüssigen Lösungen bilden, nicht stets sofort sich absetzen, sondern oft Stunden dazu gebrauchen. Wenn in solchen Fällen die Lösung bald nach der Bildung des Niederschlages völlig erstarrte, würde letzterer ebenfalls in dem starren Körper zurückbleiben und seine Eigenschaften beeinflussen können.

3) Journal of the Iron and Steel Institute 1877, I, p. 44.

4) Journal of the Chemical Society 1887, p. 142.

5) Ausführlich mitgetheilt in Howe, Metallurgy of Steel, vol. I, p. 73.

der Schwefel. Wie auf Seite 296 mitgetheilt wurde, will man in manganfreiem Eisen schon bei 0,02 Hunderttheilen Schwefel Neigung zum Rothbruch beobachtet haben [1]; jedenfalls ist es unbestreitbar, dass in solchem Eisen (Schweisseisen) weniger als 0,1 Hunderttheil Schwefel ausreichend ist, Rothbruch hervorzurufen. Ganz zuverlässige Ermittelungen über den Einfluss so geringer Schwefelmengen sind schwierig, weil neben dem Schwefel gewöhnlich kleine Mengen anderer Körper zugegen sind, welche einen gleichen Einfluss ausüben (Kupfer, Arsen, Antimon). Ein Mangangehalt des schmiedbaren Eisens wirkt jener Benachtheiligung der Schmiedbarkeit durch Schwefel entgegen. Je höher der Mangangehalt ist, desto mehr Schwefel kann das Eisen enthalten, ohne seine Verarbeitungsfähigkeit in Rothgluth einzubüssen. Nach Versuchen von Wasum [2]) verhielten sich Eisensorten mit verschiedenem Schwefel- und Mangangehalt folgendermaassen:

Zusammensetzung						Schmiedbarkeit
Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Kupfer	Mangan	Schwefel	
0,280	0,160	0,049	0,050	0,634	0,119	Gut.
0,393	0,141	0,065	0,040	0,695	0,158	Gut.
0,258	0,136	0,043	0,076	0,500	0,201	Stark rothbrüchig.
0,307	0,075	0,039	0,057	0,488	0,214	„ „
0,224	0,089	0,030	0,066	0,480	0,231	Sehr stark rothbrüchig. Zerfiel in Stücke.

Da Schweisseisen seiner Entstehungsweise gemäss niemals einen einigermaassen erheblichen Mangangehalt besitzen kann, Flusseisen dagegen fast stets einen Manganzusatz bei Beendigung des Herstellungsverfahrens erhält, ist erstens empfindlicher gegen den Einfluss des Schwefels als letzteres. Dass übrigens schwefelhaltiges Eisen, auch wenn es schon stark rothbrüchig sein sollte, doch in Weissgluth häufig noch gut bearbeitbar ist, wurde schon auf Seite 295 hervorgehoben.

Aehnlich, aber weniger kräftig als Schwefel, wirkt Sauerstoff (Eisenoxydul) auf die Schmiedbarkeit des Eisens ein. 0,1 Hunderttheil Sauerstoff, entsprechend ungefähr 0,5 Hunderttheilen Eisenoxydul, erzeugen Rothbruch (Seite 254); in Weissgluth dagegen pflegt auch sauerstoffhaltiges Eisen gut schmiedbar zu sein. Der Einfluss des Sauerstoffgehaltes hat nur beim Flusseisen Bedeutung, da nur das geschmolzene Metall Sauerstoff aufzunehmen vermag. Durch einen Zusatz von Mangan zu sauerstoffhaltigem Eisen wird das gelöste Eisenoxydul zerstört, und der Rothbruch verschwindet. Ein Ueberschuss von Mangan ist, wie bei allen chemischen Vorgängen, zur vollständigen Erreichung des Zieles erforderlich. Auch durch einen Zusatz von Aluminium oder Silicium ist zwar eine Zerstörung des Eisenoxyduls erreichbar; aber keiner dieser beiden Körper ist fähig, auch den durch Schwefel hervorgerufenen Rothbruch zu beseitigen, und ein Siliciumzusatz allein ist aus den oben

1) Die Beobachtung ist durch Prof. Eggertz gemacht worden (Jernkontorets Annaler 1860, p. 15).

2) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 192.

besprochenen Gründen nicht geeignet, die Erreichung des eigentlichen Zieles — Beseitigung des durch Sauerstoff erzeugten Rothbruches — zu ermöglichen.

Auch der Einfluss eines Arsengehaltes auf die Schmiedbarkeit ist dem des Schwefelgehaltes ganz ähnlich. Er erzeugt Rothbruch, welcher durch einen daneben anwesenden Mangangehalt abgemindert werden kann. Harbord und Tucker fanden drei durch Arsenzusatz zu vorzüglich schmiedbarem Eisen hergestellte Proben von nachstehender Zusammensetzung

	1.	2.	3.
Kohlenstoff	0,066	0,080	0,100
Phosphor	0,056	0,078	0,079
Mangan	0,140	0,120	0,120
Schwefel	0,054	0,046	0,039
Arsen	0,050	0,083	0,148

kaum noch schmiedbar. Ihr Sauerstoffgehalt wurde freilich nicht ermittelt, und es ist wahrscheinlich, dass auch dieser neben dem Arsengehalt die Entstehung von Rothbruch befördert hat. Dagegen war eine Probe mit selbst 0,170 Hunderttheilen Arsen, 0,031 Hunderttheilen Schwefel und 0,123 Hunderttheilen Kohlenstoff noch gut schmiedbar, nachdem man durch Manganzusatz ihren Mangangehalt auf 0,350 Hunderttheile erhöht hatte.[1]

Ob auch der durch einen Antimongehalt hervorgerufene Rothbruch (Seite 305) durch einen gleichzeitig anwesenden Mangangehalt abgemindert werden kann, ist bislang nicht erprobt worden.

Ueber den Einfluss des Kupfers, sowie des Kupfers und Schwefels zusammen auf die Schmiedbarkeit wurden durch Wasum lehrreiche Versuche mit sechs verschieden zusammengesetzten Proben angestellt[2], deren Ergebnisse hier zusammengestellt sind.

Zusammensetzung						Schmiedbarkeit
Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Mangan	Schwefel	Kupfer	
0,276	0,144	0,064	0,778	0,059	0,452	Sehr gut.
0,233	0,091	0,050	0,709	0,060	0,862	Gut; geringe Andeutungen von Rothbruch.
0,311	0,051	0,061	0,514	0,107	0,849	Wie vorstehend.
0,281	0,169	0,059	0,594	0,170	0,429	Rothbrüchig, aber nicht gänzlich unbrauchbar.
0,235	0,164	0,045	0,468	0,173	0,573	Wie vorstehend.
0,262	0,131	0,052	0,655	0,189	0,406	Wie vorstehend.

Ein Kupfergehalt von 0,452 Hunderttheilen neben 0,059 Hunderttheilen Schwefel blieb demnach ohne Nachtheil, da neben diesen Körpern 0,778 Hunderttheile Mangan zugegen waren; und sogar 0,862 Hunderttheile Kupfer neben dem ungefähr gleichen Schwefel- und Mangangehalte wie in dem ersten Falle beeinträchtigte die Schmiedbarkeit

1) Aus Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 578.
2) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 192.

noch nicht erheblich. Sie nimmt dagegen rasch ab, wenn der Mangangehalt fällt und der Schwefelgehalt steigt.

Auch Choubley fand, dass verschiedene Stahlproben mit einem Kupfergehalte zwischen 0,36 bis 0,48 Hunderttheilen, einem Kohlenstoffgehalte von 0,50 bis 0,60 Hunderttheilen, einem Schwefelgehalte von 0,05 bis 0,07 Hunderttheilen und einem Mangangehalte von 0,36 bis 0,54 Hunderttheilen durchaus gut schmiedbar in Rothgluth und höherer Temperatur waren.[1])

Dass kleine Mengen Zinn, Wismuth, Zink, wenn sie zufällig vom Eisen aufgenommen werden, dessen Schmiedbarkeit beeinträchtigen, wurde schon auf Seite 306 und 309 erwähnt.

Da ein Mangangehalt, wie erwähnt, den schädlichen Einflüssen des Schwefels, Arsens, Kupfers entgegenwirkt, pflegt man ihn als förderlich für die Schmiedbarkeit des Eisens zu betrachten. Diese Annahme ist jedoch nur bedingungsweise richtig. Ein mässiger Mangangehalt (bis 0,7 Hunderttheile oder wenig darüber) vermag allerdings in der angegebenen Weise die Schmiedbarkeit eines an jenen Körpern verhältnissmässig reichen Eisens zu erhöhen; ein hoher Mangangehalt ist in jedem Falle der Schmiedbarkeit nachtheilig, indem er die Widerstandsfähigkeit des Eisens gegen Formveränderungen erhöht, also die Aufwendung eines stärkeren Kraftaufwandes erforderlich macht. Da es bis jetzt nicht gelang, manganreiches Eisen, welches nicht auch einen hohen Kohlenstoffgehalt besessen hätte, darzustellen, ist es nicht möglich, genau die Einwirkung des Mangans allein auf die Schmiedbarkeit zu erkennen. Nach Howe ist Manganstahl in Gelbgluth gut schmiedbar, setzt aber der Bearbeitung grösseren Widerstand als reiner Kohlenstoffstahl entgegen und zerfällt beim Schmieden in Weissgluth zu Stücken.[2]) Hadfield stellte geschmiedete Probestücke mit einem Mangangehalte von 22 Hunderttheilen neben 2 Hunderttheilen Kohlenstoff dar.[3])

Gering ist der Einfluss eines Nickelgehaltes auf die Schmiedbarkeit. Man hat geschmiedete Nickeleisenlegirungen mit 49,5 Hunderttheilen Nickel neben 0,35 Hunderttheilen Kohlenstoff dargestellt; doch ist nach Riley einige Vorsicht beim Erwärmen und Schmieden erforderlich, wenn der Nickelgehalt über 25 Hunderttheile hinausgeht.[4]) Wenn man in früherer Zeit häufig beobachtet zu haben glaubte, dass schon ziemlich kleine Mengen dem Eisen zugesetzten Nickels Rothbruch erzeugten, so entstand diese irrige Meinung aus dem Umstande, dass man bis gegen Ende der siebziger Jahre dieses Jahrhunderts überhaupt kein von Schwefel, Arsen, Kupfer ausreichend reines Nickel darstellte. Man führte bei dem Nickelzusatze auch diese Fremdkörper in das Eisenbad, welche das Eisen rothbrüchig machten.

1) Bulletin de la société de l'industrie minérale 1884 (Märzheft); auch in „Stahl und Eisen" 1884, Seite 374. Die Versuche wurden mit Stahlsorten angestellt, deren Phosphorgehalt man absichtlich auf etwa 0,2 Hunderttheile angereichert hatte, um zu erproben, ob Kupfer neben Phosphor etwa nachtheiliger als bei Wasums Versuchen sich verhalte.

2) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 994.

3) Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, p. 52.

4) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1889, I, p. 46 in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 860.

Aluminium, dem flüssigen schmiedbaren Eisen zugesetzt, verringert bei einigermaassen beträchtlichem Gehalte dessen Schmiedbarkeit. Hadfield fand, dass die Schmiedbarkeit aufhört, wenn der Aluminiumgehalt über 5,60 Hunderttheile steigt, dass aber Eisen mit 2,2 Hunderttheilen Aluminium bei 0,24 Hunderttheilen Kohlenstoff sich noch recht gut schmieden liess.[1])

Chrom steigert zwar, wie Mangan, die Widerstandsfähigkeit gegen Formveränderungen und verringert dadurch mittelbar etwas die Schmiedbarkeit, ohne jedoch im Uebrigen diese erheblich zu benachtheiligen. Rothbruch wird nicht durch Chrom erzeugt; aber chromreiche Eisensorten ertragen weniger starke Erhitzung als chromärmere. Alle bisher dargestellten chromreicheren Legirungen sind jedoch zugleich kohlenstoffreich, wodurch die genaue Erkennung des Einflusses eines Chromgehaltes erschwert wird. Nach Versuchen von Hadfield liess sich Chromstahl mit 11,1 Hunderttheilen Chrom neben 1,27 Hunderttheilen Kohlenstoff noch gut schmieden, bei 15,1 Hunderttheilen Chrom und 1,79 Hunderttheilen Kohlenstoff war die Schmiedbarkeit sehr gering, bei 16,7 Hunderttheilen Chrom und 2,12 Hunderttheilen Kohle hatte sie gänzlich aufgehört.[2]) Gleiche Angaben werden durch andere Beobachter gemacht.[3])

Aehnlich wie Chrom wirkt Wolfram. Wolframstahl mit etwa 7 Hunderttheilen Wolfram neben 2 Hunderttheilen Kohlenstoff ist nach Howe in heller Rothgluth (Gelbgluth) noch gut, in heller Gelbgluth nicht mehr schmiedbar.[4]) Die Abminderung der Schmiedbarkeit fällt hier offenbar nicht minder dem hohen Kohlenstoffgehalte als dem Wolframgehalte zur Last.

Nicht immer ist es leicht möglich, die Ursachen von Rothbruch im Eisen zu entdecken. Denn zahlreiche Körper — Schwefel, Arsen, Antimon, Sauerstoff, Kupfer und andere — vermögen Rothbruch zu erzeugen; sind mehrere von ihnen neben einander zugegen, so genügt von jedem schon eine verhältnissmässig kleine Menge, das Eisen rothbrüchig zu machen. Nicht selten kommt es vor, dass zwei ganz ähnlich zusammengesetzte Eisenproben sich abweichend beim Schmieden verhalten, wie nachstehendes Beispiel zeigt[5]):

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel	Arsen	Antimon	Kupfer	Sauerstoff
Rothbrüchiges Martineisen .	0,10	0,06	0,29	0,17	0,07	0,02	0,05	0,18	n. best.
Gut schmiedbares Martineisen von demselben Werke	0,21	0,03	0,55	0,15	0,05	0,03	0,04	0,16	„

Das rothbrüchige Eisen ist hier nur wenig reicher an Schwefel,

1) Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 177.
2) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1892, II in „Stahl und Eisen" 1893, Seite 21.
3) Mehrere solcher, im Wesentlichen übereinstimmender, Angaben sind in Howe, Metallurgy of Steel, p. 78 mitgetheilt.
4) Metallurgy of Steel, p. 82.
5) Die Analysen sind von mir ausgeführt.

aber ärmer an Mangan und daher vermuthlich auch etwas reicher an Sauerstoff.[1])

Eine dem Rothbruch ganz ähnliche und nicht selten mit ihm verwechselte Erscheinung wird mitunter durch fremde Körper herbeigeführt, welche dem Eisen nur mechanisch beigemengt sind, in der Schmiedetemperatur nicht flüssig werden, solcherart den Zusammenhang unterbrechen und um so leichter die Entstehung von Rissen beim Schmieden veranlassen, auf je dünnere Querschnitte das betreffende Eisenstück ausgestreckt war. Man nennt die Erscheinung Faulbruch, das betreffende Eisen faulbrüchig. Vorzugsweise zeigt sich Faulbruch beim Schweisseisen, wenn dieses stark basische, zumal kalkhaltige, Schlacken (sogenannte trockene Schlacken) enthält, welche zu strengflüssig sind, um beim Schmieden ausfliessen zu können und die Ursache zur Entstehung von Kantenrissen beim Schmieden oder Walzen von Gegenständen mit dünner Wandstärke bilden, während dasselbe Eisen in dickeren Stücken oft recht gut verarbeitbar ist. Ein von mir untersuchtes Schweisseisen, welches, zu dünnem Winkeleisen verwalzt, häufige Kantenrisse zeigte, enthielt

Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Arsen	Antimon	Kupfer
n. best.	0,00	Spur	0,023	0,020	0,019	0,056

also nur sehr geringe Mengen solcher Körper, welche Rothbruch hervorrufen.[2]) Der Schlackengehalt betrug 0,41 Hunderttheile; die Schlacke enthielt 15,2 Hunderttheile Kieselsäure, 26 Hunderttheile Phosphorsäure, 4 Hunderttheile Kalkerde, ausserdem Thonerde und, wie gewöhnlich, Eisenoxyde. Man kann nur diese Schlacke als Ursache der Entstehung jener Kantenrisse ansehen; das Eisen war nicht roth-, sondern faulbrüchig.

Eine noch andere Art der Brüchigkeit bei der Verarbeitung in höherer Temperatur zeigen sämmtliche Arten des schmiedbaren Eisens, die eine in stärkerem, die andere in schwächerem Maasse, wenn das Eisen während der Verarbeitung unter Rothgluth, also auf etwa 300 bis 400° abkühlt. Das Eisen wird spröde, bekommt Risse, welche, zunächst oft unbemerkt, Veranlassung zu späteren Brüchen geben können, und verhält sich ungünstiger als selbst bei der Bearbeitung im nicht erhitzten Zustande. Stäbe, welche im kalten und im rothwarmen Zustande sich um 180° biegen und flach zusammenschlagen lassen, ohne einen Riss zu erhalten, brechen ab, wenn sie derselben Behandlung in der genannten Temperatur unterzogen werden, lange bevor die Biegung von 180° erreicht ist; ein gleicher Unterschied zeigt sich beim Strecken.[3]) Man nennt die Erscheinung Blaubruch (Blaubrüchigkeit), weil sie in der Temperatur bemerkbar wird, wo das nicht mehr glühende Eisen blau anläuft, wenn man eine Stelle durch Abkratzen vom Glühspan befreit.

1) Leider giebt es noch kein leicht auszuführendes und doch zuverlässiges Verfahren der Sauerstoffbestimmung im Eisen. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen" 1882, Seite 193; 1893, Seite 294.

2) Sauerstoff kann, wie schon oben bemerkt wurde, im eigentlichen Schweisseisen nicht vorkommen. Wo man Sauerstoff gefunden hat, bildet er einen Bestandtheil der eingemengten Schlacke.

3) Versuche hierüber: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band XX, Seite 21.

Die Eigenschaft mahnt bei der Bearbeitung des Eisens zur Vorsicht, wo eine beabsichtigte Formveränderung eines Eisenstückes (Strecken, Biegen, Aufbördeln u. a. m.) längere Zeit beansprucht, so dass Abkühlung unter Rothgluth eintritt. Das Arbeitsstück muss jetzt auf's neue erhitzt werden, ehe die Bearbeitung fortgesetzt werden darf; andernfalls ist die Gefahr gross, dass das Eisen schadhaft werde. Schon mancher spätere Unglücksfall (Platzen von Dampfkesseln, Bruch von Gestängen oder von Trägern) ist durch die Nichtbeachtung jener Vorsichtsmaassregel herbeigeführt worden.

4. Die Schweissbarkeit.

Schweissbar nennen wir ein Metall, wenn sich zwei Stücke desselben unter Einwirkung eines äussern Druckes zu einem Ganzen vereinigen lassen. Der Druck hat hierbei die Aufgabe zu erfüllen, eine Näherung der Oberflächen in solchem Grade herbeizuführen, dass die Cohäsionskraft zwischen den vorher getrennt gewesenen Theilchen in Wirksamkeit tritt. Für dieses genaue Zusammenpassen der Berührungsflächen aber ist ein erweichter Zustand der zu vereinigenden Stücke erforderlich; er wird durch Erhitzung jener Stücke herbeigeführt.[1])

Nicht alle Metalle sind gleich gut schweissbar; viele, welche plötzlich in den flüssigen Zustand übergehen, ohne zuvor jenen für die Schweissung nothwendigen, bildsamen Zustand zu durchlaufen, lassen sich in dem gewöhnlichen Sinne überhaupt nicht schweissen. Vor allen übrigen Metallen aber zeichnen sich gewisse Arten schmiedbaren Eisens durch Leichtschweissbarkeit aus, und diese Eigenschaft gewährt eine wichtige Unterstützung für ihre Darstellung wie für ihre spätere Verarbeitung.

Wie die Metalle im Allgemeinen zeigen auch die einzelnen Arten des Eisens ein verschiedenes Maass der Schweissbarkeit, je nachdem der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand plötzlicher oder allmählicher stattfindet. Eine je stärkere und allmählichere Erweichung vor der völligen Verflüssigung eintritt, desto besser schweissbar ist der Regel nach das Eisen. *Im Allgemeinen ist daher das reinste Eisen auch das am leichtesten schweissbare*; denn fast alle fremden Körper erniedrigen die Schmelztemperatur und bewirken theils hierdurch, theils auch, indem sie unmittelbar die Härte und Sprödigkeit des Eisens in der unter dem Schmelzpunkte liegenden Temperatur steigern, einen plötzlicheren Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand. Aus diesem Grunde ist weder das Roheisen, noch das an fremden Körpern reichere schmiedbare Eisen überhaupt schweissbar.

Das Maass des Einflusses, welchen gleiche Mengen verschiedener Körper in dieser Beziehung ausüben, ist jedoch sehr abweichend. Der Umstand erklärt sich leicht, wenn man erwägt, dass auch die Schmelz-

1) Eine der Schweissbarkeit im Wesentlichen ganz gleiche Eigenschaft besitzen auch verschiedene nichtmetallische Körper, deren Stücke im erwärmten und dadurch erweichten Zustande sich ebenfalls leicht zu einem Ganzen vereinigen lassen: Glas, Wachs, Pech u. a.

temperatur und die Härte des nahe zum Schmelzen erhitzten Eisens in verschieden starkem Maasse durch jene im Eisen auftretenden Körper beeinflusst werden.

Kohlenstoff verringert mit zunehmendem Gehalte die Schweissbarkeit merklich; aber ein Stahl mit 1 Hunderttheil Kohlenstoff pflegt, sofern er von sonstigen, die Schweissbarkeit benachtheiligenden Körpern frei ist, immerhin noch ohne grosse Schwierigkeit schweissbar zu sein; ja selbst bei 1,2 Hunderttheilen Kohlenstoff zeigen einige Stahlsorten, wenn sie mit Vorsicht behandelt werden, noch Schweissbarkeit. Ueber diese Grenze hinaus hört die Schweissbarkeit auf; und schon bei noch niedrigerem Kohlenstoffgehalte kann sie ihr Ende erreichen, wenn neben diesem andere, die Schweissbarkeit beeinträchtigende Körper zugegen sind.

Der Einfluss eines Siliciumgehaltes ist — ebenso wie sein Einfluss auf die Schmiedbarkeit — verschieden, je nachdem das Silicium schon bei der Entstehung des schmiedbaren Eisens (insbesondere Flusseisens) in diesem zugegen war oder erst später dem sauerstoffhaltigen Eisen zugesetzt wurde (Seite 644). In dem ersteren Falle kann das Eisen ziemlich siliciumreich sein, ohne merklich an Schweissbarkeit zu verlieren; in dem letzteren Falle kann schon ein ziemlich niedriger Siliciumgehalt das Eisen unschweissbar machen. Mrázek versichert, dass ein von ihm durch Schmelzen von Eisendraht mit Quarz, Flussspath und Natrium erhaltenes manganfreies Siliciumeisen mit 7,42 Hunderttheilen Silicium und nur Spuren von Kohlenstoff noch schweissbar gewesen sei; auch ein von ihm geprüfter Bessemerstahl von Neuberg mit 0,97 Hunderttheilen Silicium, 0,47 Hunderttheilen Kohle und 0,94 Hunderttheilen Mangan erwies sich ohne Anwendung von Schweisspulver als leicht schweissbar.[1]) Als aber Hadfield Eisenproben mit verschiedenem Siliciumgehalte darstellte, indem er geschmolzenem, kohlenstoffarmem und manganfreiem Schweisseisen Siliciumeisen zusetzte, gelang es ihm nicht, ein schweissbares Erzeugniss zu gewinnen, wenn der Siliciumgehalt über 0,20 Hunderttheile hinausging.[2]) Zahlreiche Beobachtungen des Betriebes stehen hiermit im Einklange. Verarbeitet man ein siliciumreiches Roheisen in hoher Temperatur auf Flusseisen und unterbricht das Frischen (Seite 257), bevor das Silicium ganz ausgeschieden ist, so pflegt das Erzeugniss schweissbar zu sein, auch wenn der Siliciumgehalt noch ziemlich hoch sein sollte; setzt man aber entkohltem und demnach sauerstoffreich gewordenem Flusseisen Siliciumeisen zu, so erhält man meistens ein unschweissbares Erzeugniss. Auch der scheinbare Widerspruch, dass ein kohlenstoffreicheres Flusseisen mitunter trotz eines verhältnissmässig hohen Siliciumgehaltes noch leichter schweissbar ist als ein kohlenstoffärmeres mit dem gleichen oder auch noch niedrigeren Siliciumgehalte, findet hierdurch seine Erklärung. Kohlenstoffarmes Eisen darf, um schweissbar zu sein, nur sehr wenig Silicium enthalten; selten findet man in gut schweissbarem, weichem Eisen mehr als 0,02 Hunderttheile Silicium. Neun Proben schweissbaren Eisens, welche von mir untersucht wurden,

1) Jahrbuch der österr. Bergakademieen, Band XX, Seite 408.
2) Journal of the Iron and Steel Institute 1889, II, p. 222.

enthielten durchschnittlich 0,01 Hunderttheil Silicium neben 0,14 Hunderttheilen Kohlenstoff; fünf Proben nicht schweissbaren Eisens dagegen enthielten 0,11 Hunderttheile Silicium neben 0,22 Hunderttheilen Kohlenstoff.[1])

Phosphor zeigt, sofern das Eisen kohlenstoffarm ist, nur geringen Einfluss auf die Schweissbarkeit. Schweisseisen mit 0,4 Hunderttheilen Phosphor[2]) und 0,1 Hunderttheil oder weniger Kohlenstoff ist gewöhnlich mit Leichtigkeit schweissbar; kohlenstoffreichere Eisensorten dagegen büssen an Schweissbarkeit ein, wenn sie neben dem Kohlenstoff auch Phosphor enthalten.

Schwefel, der zwar die Schmiedbarkeit des Eisens in Rothgluth beeinträchtigt, unerheblicher aber in Weissgluth, d. i. derjenigen Temperatur, in welcher die kohlenstoffarmen Eisensorten überhaupt geschweisst zu werden pflegen, wirkt aus eben diesem Grunde auf die Schweissbarkeit dieses Eisens nicht sehr nachtheilig ein, sofern seine Menge nicht allzu beträchtlich ist; und da man schon in Rücksicht auf den durch Schwefel erzeugten Rothbruch einen Schwefelgehalt von mehr als 0,10 Hunderttheilen im Flusseisen und von mehr als 0,04 Hunderttheilen im Schweisseisen so viel als thunlich zu vermeiden sucht, so bleibt die jedenfalls geringe Einwirkung dieses niedrigen Schwefelgehaltes auf die Schweissbarkeit ohne praktische Bedeutung. Holley fand, dass ein Schwefelgehalt von 0,046 Hunderttheilen die Schweissbarkeit von Schweisseisen nicht beeinträchtige[3]); nach Versuchen von Harbord und Tucker war sogar ein Flusseisen mit 0,125 Hunderttheilen Schwefel und 0,51 Hunderttheilen Mangan noch gut schweissbar.[4])

Sauerstoff (Eisenoxydul) verhält sich dem Schwefel ähnlich; d. h. im kohlenstoffarmen Eisen, welches Erhitzung auf Weissgluth erträgt, beeinträchtigt er die Schweissbarkeit nicht erheblich. Ein durch das Thomasverfahren dargestelltes Flusseisen mit 0,037 Hunderttheilen Kohlenstoff und 0,244 Hunderttheilen Sauerstoff, welches in Rothgluth unter dem Hammer in Stücke zerfiel, liess sich in Weissgluth ohne Schwierigkeit schweissen.[5])

Arsen und Antimon verringern die Schweissbarkeit. Åkerman fand, dass 0,05 Hunderttheile Arsen das Eisen unschweissbar machen[6]); bei Versuchen von Harbord und Tucker dagegen erwies sich ein kohlenstoffarmes Flusseisen (0,123 Hunderttheile Kohlenstoff), welches zugleich 0,350 Hunderttheile Mangan enthielt, bei einem Arsengehalte von 0,171 Hunderttheilen noch mit Vorsicht schweissbar, büsste aber die Schweissbarkeit rasch ein, wenn der Arsengehalt ferner erhöht wurde.[7])

1) Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band X, Seite 181.

2) Von dem im Schweisseisen gefundenen Phosphorgehalte gehört allerdings meistens ein Theil der eingemengten Schlacke an, welche reich an Phosphorsäure zu sein pflegt. Einiges Nähere hierüber im dritten Abschnitte bei Besprechung der Eigenthümlichkeiten des Schweisseisens.

3) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VI, p. 111.

4) Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, p. 701.

5) Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1883, Seite 22.

6) Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, p. 195.

7) Ebenda, I, p. 186; „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 578.

Zinn macht schon in kleinen Mengen das Eisen unschweissbar[1]; umfassendere Untersuchungen hierüber liegen nicht vor, da ein Zinngehalt nur durch Unvorsichtigkeit beim Betriebe in das Eisen kommen kann.

Kupfer übt in den Mengen, in welchen es überhaupt im schmiedbaren Eisen aufzutreten pflegt (höchstens 0,4 Hunderttheile), keinen erheblichen Einfluss auf die Schweissbarkeit aus. Holley fand ein Schweisseisen mit 0,31 Hunderttheilen Kupfer neben 0,03 Hunderttheilen Kohlenstoff, übrigens sehr rein von schädlichen Fremdkörpern, gut schweissbar; einige andere Proben von ähnlicher Zusammensetzung schweissten freilich weniger gut.[2] Auch ein von mir untersuchtes Flusseisen mit 0,36 Hunderttheilen Kupfer neben 0,10 Hunderttheilen Kohlenstoff, frei von Silicium, arm an Schwefel und Phosphor, war gut schweissbar.[3]

Mangan verringert, wenn sein Gehalt erheblich über 1 Hunderttheil hinausgeht, die Schweissbarkeit. Ein schon eben erwähnter, von Mrázek geprüfter Stahl mit 0,94 Hunderttheilen Mangan neben 0,97 Hunderttheilen Silicium und 0,47 Hunderttheilen Kohle war noch gut schweissbar; ebenso ein von Ratcliffe geprüftes Flusseisen mit 0,785 Hunderttheilen Mangan neben 0,026 Hunderttheilen Silicium und 0,153 Hunderttheilen Kohlenstoff.[4] Auch eine dem Verfasser vorliegende Stahlprobe mit 0,70 Hunderttheilen Mangan neben 0,47 Hunderttheilen Kohlenstoff und 0,12 Hunderttheilen Silicium ist gut schweissbar. In der Regel aber nimmt man an, dass der Mangangehalt thunlichst niedrig sein müsse, damit das Eisen gut schweissbar sei, und dass insbesondere ein kohlenstoffarmes Eisen, welches einer stärkeren Erhitzung zum Schweissen als ein kohlenstoffreicheres bedarf, auch manganarm sein müsse. In Eisen mit 0,10 Hunderttheilen Kohlenstoff soll der Mangangehalt nicht über 0,40 Hunderttheile hinausgehen. Aus Beobachtungen des Betriebes lässt sich schliessen, dass auch der Einfluss eines Mangangehaltes, wie der eines Siliciumgehaltes, zum Theil durch die Art und Weise bedingt wird, wie er in das Eisen gelangt ist; dass ein dem sauerstoffhaltig gewordenen Flusseisen zugesetzter Mangangehalt, soweit er nicht mit dem Sauerstoff ausgeschieden wurde, der Schweissbarkeit nachtheiliger ist als ein Mangangehalt, welcher vom Beginn des Darstellungsverfahrens an in dem Eisen zurückblieb. Umfänglichere Untersuchungen hierüber fehlen noch.

Nickel in geringeren Mengen als 1 Hunderttheil beeinträchtigt die Schweissbarkeit nicht erheblich; bei höherem Nickelgehalte hört allmählich die Schweissbarkeit auf.[5]

Ein Chromgehalt von 0,5 Hunderttheilen oder noch weniger macht das Eisen unschweissbar. Hadfield fand, dass ein Flusseisen mit nur 0,29 Hunderttheilen Chrom, 0,16 Hunderttheilen Kohlenstoff,

1) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. V, p. 454.

2) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VI, p. 115.

3) Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band X, Seite 181.

4) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1879 in „Stahl und Eisen" 1883, Seite 511.

5) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1889, I in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 860.

0,07 Hunderttheilen Silicium, 0,29 Hunderttheilen Mangan nicht mehr schweissbar war.[1])

Ebenso nachtheilig wirkt Aluminium. Eisen mit 0,61 Hunderttheilen Aluminium, 0,20 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,20 Hunderttheilen Silicium, 0,11 Hunderttheilen Mangan, von Hadfield geprüft, war völlig unschweissbar[2]); man darf annehmen, dass auch ein noch geringerer Aluminiumgehalt ausgereicht haben würde, die gleiche Wirkung hervorzubringen.

Minder gefährlich für die Schweissbarkeit scheint Wolfram zu sein. Kohlenstoffarme Legirungen des Eisens mit Wolfram sind bis jetzt wenig dargestellt und geprüft worden; ein Stahl mit 7,8 Hunderttheilen Wolfram und 1,9 Hunderttheilen Kohlenstoff war bei Anwendung des elektrischen Schweissverfahrens noch schweissbar.[3])

Damit die Schweissung möglich werde, ist Reinheit der zu vereinigenden Flächen von Oxyden oder anderen Körpern erforderlich. Eine mechanische Reinigung der Flächen durch Befeilen oder dergleichen würde erfolglos ein, da das Eisen schon in niedrigeren Temperaturen als Schweisshitze sich sofort wieder mit Oxyden überzieht. Man hilft sich, indem man vor der Schweissung die Verbindungsflächen mit irgend einem Pulver bestreut, welches mit den entstehenden Oxyden eine in der Schweisstemperatur flüssige Schlacke bildet, die alsdann unter dem beim Schweissen angewendeten Drucke oder unter den Schlägen des Hammers aus der Fuge herausgequetscht wird. Dieses Pulver heisst Schweisspulver. Seine Zusammensetzung muss sich nach der Schweisstemperatur des zu schweissenden Eisens richten; diese aber liegt um so tiefer, je härter das Eisen (der Stahl), d. h. je höher sein Kohlenstoffgehalt ist.

Offenbar wird aber die Wahl des Schweisspulvers um so leichter sein, je höher die Schweisstemperatur liegt, je stärker also die entstehende Schlacke selbst erhitzt wird. Bei den kohlenstoffarmen Eisensorten genügt schon ein Bestreuen mit Sand oder Thonmehl zur Erreichung des Zweckes; bei kohlenstoffarmem, schlackenreichem Schweisseisen ist sogar die Anwendung eines besonderen Schweisspulvers nicht einmal unbedingt erforderlich, sondern die eingeschlossene Schlacke genügt häufig, auch die neugebildeten Oxyde aufzulösen, um dann mit ihnen aus der Schweissfuge auszutreten. Dieser Umstand erklärt zum Theil die Thatsache, dass Schweisseisen durchschnittlich leichter als Flusseisen schweissbar ist[4]); eine sogenannte „saftige Schweisshitze“,

1) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 21.

2) Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 180.

3) Howe, Metallurgy of Steel, p. 82. Man darf hierbei freilich nicht vergessen, dass durch das elektrische Schweissverfahren Körper sich vereinigen — zusammenschmelzen — lassen, welche nicht im eigentlichen Sinne schweissbar sind. Stahl mit 1,9 Hunderttheilen Kohlenstoff ist auch ohne einen Wolframgehalt im gewöhnlichen Sinne nicht mehr schweissbar.

4) Ein anderer Grund ist der durchschnittlich höhere Gehalt des Flusseisens an Fremdkörpern, welche der Schweissung nachtheilig sind (Mangan, Silicium, Schwefel). Es kommt hinzu, dass das Flusseisen eine andere Behandlung beim Schweissen als Schweisseisen verlangt. Es muss rasch, aber nicht allzu stark erhitzt und durch kräftige, rasch aufeinander folgende Hammerschläge geschweisst

bei welcher unter den die Schweissung bewirkenden Hammerschlägen oder dem Drucke der Walzen reichliche Schlackenmengen aus der Schweissfuge ausfliessen, pflegt ein Merkmal einer gut gelingenden Schweissung zu sein.

Für solches kohlenstoffarme Schweisseisen ist Weissgluth die richtige Schweisstemperatur, mittelharter Stahl dagegen lässt sich nur in Gelbgluth, harter in beginnender Gelbgluth (Hellrothgluth) schweissen. Auch Flusseisen erträgt, selbst wenn es sehr kohlenstoffarm sein sollte, nicht ganz jene hohe Temperatur als Schweisseisen.

Die Zusammensetzung der verschiedenen zum Stahlschweissen vorgeschlagenen Schweisspulver aber ist mannigfaltig. Gewöhnlich enthalten sie Alkalien, da diese stärker als die meisten anderen Basen die Schmelztemperatur der Schlacken abmindern; nicht selten Baryt (Schwerspath), welcher ebenfalls dünnflüssige Schlacken bildet; Borax oder Borsäure in Rücksicht auf die auflösende Wirkung der letzteren. Häufig setzt man diesen, die Schmelzung der Schlacke bewirkenden Bestandtheilen auch solche zu, welche dem Stahle Kohlenstoff zuführen und hierdurch einen Ausgleich für den Verlust an Kohlenstoff herbeizuführen bestimmt sind, welchen der Stahl beim Glühen erleiden könnte. Das üblichste Mittel hierfür ist Blutlaugensalz; auch Kolophonium wird mitunter benutzt.

Gut bewährt zum Schweissen harten Werkzeugstahles ist ein Gemisch aus 6 Theilen Borax und 7 Theilen Feilspänen; andere Vorschriften für Schweisspulver sind z. B.:

Borsäure	41,5	Gewichtstheile
Kochsalz	35,0	„
Blutlaugensalz	15,5	„
Gebranntes kohlensaures Natron	8,5	„

oder

Borax	8	„
Blutlaugensalz	1	„
Salmiak	1	„

u. a. m.

Die Schweissbarkeit des Eisens gewährt ein vortreffliches Mittel ebensowohl, um bei der Herstellung von Gebrauchs-Gegenständen getrennte Stücke oder (bei ringförmigen Körpern) Enden zu einem Ganzen zu vereinigen, als auch, um bei der Herstellung des gewöhnlichen Handelseisens aus Schweisseisen eine weitgehende Reinigung von Schlacke herbeizuführen. Die Anwendung des Schweissens für diesen Zweck beruht auf dem Umstande, dass bei der mechanischen Bearbeitung — Streckung — des Eisens die Reinigung von Schlacke um so vollständiger sein wird, auf je dünnere Querschnitte das Eisen gestreckt wurde; indem man also zunächst Stäbe oder Platten von dünneren Querschnitten erzeugt, diese zerschneidet, zusammenschweisst, abermals ausstreckt und nach Befinden dieses Verfahren nochmals

werden. Arbeiter, welche nur mit der Bearbeitung von Schweisseisen vertraut sind, werden Flusseisen nicht selten für unschweissbar erklären, auch wenn es bei richtiger Behandlung ganz gut schweissbar sein sollte. Einiges Nähere hierüber in den Mittheilungen des mechanisch-technischen Laboratoriums der technischen Hochschule zu München, Heft XII (Bauschinger).

wiederholt, wird man ein reineres, besseres Enderzeugniss erhalten, als wenn man das frisch dargestellte Schweisseisen ohne Weiteres zu der vorgeschriebenen Form ausarbeiten wollte. Auch Abfälle, Ausschussstücke oder Alteisen werden vermöge ihrer Schweissbarkeit wieder verwerthet, indem man sie zusammenschweisst und auf's neue ausstreckt, hierbei zugleich eine fernere Verfeinerung derselben bewirkend.

Dennoch darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass man nach stattgehabter Schweissung zweier Eisenstücke nicht im Stande ist, ohne Anstellung einer mechanischen Prüfung der Schweissstelle mit Sicherheit zu erkennen, ob auch die Schweissung gelungen ist; und es muss betont werden, dass auch die gelungenste Schweissstelle gewöhnlich nicht ganz die Festigkeit und Zähigkeit des ungeschweissten Eisens besitzt. Häufig wird man durch mehrmals wiederholtes Hin- und Herbiegen einer Schweissstelle mit scheinbar gut gelungener Schweissung die Verbindung wieder lösen können.

Bei Versuchen, welche durch einen vom Vereine zur Beförderung des Gewerbfleisses ernannten Ausschuss über die Schweissbarkeit des Eisens angestellt wurden, ergab sich, dass die Festigkeit

ungeschweissten harten Flusseisens (mit etwa 0,2 Hunderttheilen C; 0,2 bis 0,3 Hunderttheilen Mn) 1,725 mal so gross war als die des geschweissten;

ungeschweissten weichen Flusseisens (mit etwa 0,1 Hunderttheil C, 0,2 Hunderttheilen Mn) 1,410 mal so gross als die des geschweissten; und

ungeschweissten Schweisseisens 1,229 mal so gross als die des geschweissten.[1]) Wenn auch bei diesen Versuchen das besonders ungünstige Verhalten des Flusseisens vielleicht durch eine nicht ganz sachgemässe Behandlung beim Schweissen verursacht sein mag, hat doch der ausgesprochene Satz in seiner allgemeinen Form auch vielfache anderweitige Bestätigung gefunden.[2])

Dieser Umstand verleiht allem Flusseisen, welches einer Reinigung von Schlacke und demnach einer Schweissung zum Zwecke der Reinigung nicht bedarf, ein Uebergewicht über das Schweisseisen in solchen Fällen, wo vorwiegend Festigkeit und Haltbarkeit verlangt werden. Gegenstände aus ungeschweisstem Flusseisen besitzen in fast allen diesen Fällen eine längere Dauer als aus Schweisseisen. Eisenbahnschienen, aus Schweisseisen (Schweissstahl) gefertigt, splittern unter der Einwirkung der darüber rollenden Räder im Laufe der Zeit auf, indem die Schweissfugen allmählich sich lösen; ähnlich verhalten sich zahlreiche andere Gegenstände, die auf Abnutzung durch mechanische Einflüsse in Anspruch genommen werden.

5. Die Schmelztemperatur.

Die Schmelztemperatur des schmiedbaren Eisens hängt im Wesentlichen von seinem Kohlenstoffgehalte ab (Seite 282), da andere Körper,

1) Verhandlungen d. Vereins z. Beförderung d. Gewerbfleisses 1883, Seite 146.

2) Beispiele: Mittheilungen des mechanisch-technischen Laboratoriums der technischen Hochschule zu München, Heft XII, auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 89 (Bauschinger); Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1884, Nr. 8, auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1884, Seite 271.

welche hierbei von Einfluss sein könnten, nur in unerheblichen Mengen vorzukommen pflegen, und sie schwankt bei den meisten Arten zwischen 1350 bis 1480° C. Le Chatelier fand für ein Eisen mit 0,1 Hunderttheil Kohlenstoff 1475° C., mit 0,3 Hunderttheilen Kohlenstoff 1455° C., mit 0,9 Hunderttheilen Kohlenstoff 1410° C.[1]); nach Versuchen von Osmond lag die Schmelztemperatur eines Stahles mit 0,7 Hunderttheilen Kohlenstoff bei 1420° C., eines Chromstahles mit 5,19 Hunderttheilen Chrom, 0,77 Hunderttheilen Kohle, 0,50 Hunderttheilen Silicium und 0,61 Hunderttheilen Mangan dagegen bei 1380° C. Stahl mit 1,5 Hunderttheilen Kohlenstoff, welcher keine grösseren Mengen anderer Fremdkörper besitzt, wird demnach bei ungefähr 1360° C. schmelzen.

6. Die Härte und Härtbarkeit. Das Härten und Anlassen.

Das reine Eisen ist verhältnissmässig weich, und seine Härte wächst mit dem Gehalte an legirten fremden Körpern. Die Einflüsse dieser letzteren auf die Härte des Eisens wurden bereits in der ersten Abtheilung (Seite 283, 287, 289, 299, 303, 305) besprochen. Es geht daraus hervor, dass von den in dem Handelseisen häufiger auftretenden Körpern vorzugsweise Kohlenstoff in Form der Härtungskohle und Mangan deutliche Härtesteigerungen hervorbringen, gleiche Mengen des ersteren aber bedeutend kräftiger wirken als des letzteren, und dass der durch Mangan hervorgerufene Härtegrad nicht in gleichem Verhältnisse mit dem Mangangehalte steigt und fällt, sondern bei 6 Hunderttheilen Mangan beträchtlicher ist, als bei 10 Hunderttheilen, und erst wieder zunimmt, wenn der Mangangehalt über letzteres Maass hinausgeht. Andere Körper, welche mitunter dem schmiedbaren Eisen (Flusseisen) absichtlich zugesetzt werden, um eine Steigerung der Härte hervorzubringen, sind Wolfram, Chrom, Nickel.

Anwendung von diesen Einflüssen macht man bei Darstellung des Manganstahles, Wolframstahles, Chromstahles, Nickelstahles.

Manganstahl hat bis jetzt nur ziemlich vereinzelte Verwendung gefunden. Man benutzt ihn (mit einem Mangangehalte von etwa 10 Hunderttheilen) für gegossene Räder zu Grubenwagen, Pferdebahnwagen und zu einigen anderen gegossenen Gegenständen, welche starker Abnutzung ohne sehr heftige Erschütterungen unterworfen sind; auch im geschmiedeten Zustande zu Brückenbolzen, Wagenachsen und dergleichen mehr.[2]) Die Untersuchung zweier solcher Manganstähle ergab nachstehende Zusammensetzung[3]):

	Mn	C	Si	S	P
Gewalzter Stahl von Sheffield . .	12,35	1,20	0,36	0,06	0,08
Desgleichen von Hörde	10,61	1,27	0,04	0,03	0,02

Wolframstahl wird häufig für Werkzeuge mit stumpfen Schneiden benutzt, welche zur Bearbeitung sehr harter Gegenstände (z. B. aus Hartguss) bestimmt sind. Sein Wolframgehalt schwankt meistens zwischen 2 bis 9 Hunderttheilen und geht in einzelnen Fällen noch hierüber hinaus.

1) Comptes rendus, vol. 140, p. 471.
2) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 993.
3) T. Mukai, Studien über Manganstahl. Freiberg 1892.

Seine Härte ist sehr bedeutend. Die wolframreicheren Sorten ritzen im naturharten Zustande Glas; eine künstliche Härtung (durch Ablöschen in Wasser oder Oel) wird bei ihnen überhaupt nicht angewendet, da sie hierbei zerspringen würden. War die Eisenwolframlegirung, welche bei der Herstellung des Stahles als Zusatz diente, durch Schmelzen von Wolframit hergestellt, so pflegt er etwa 1 bis 2 Hunderttheile Mangan zu enthalten (Seite 304); angeblich wird seine Sprödigkeit hierdurch abgemindert und seine Schmiedbarkeit erhöht. Einige Beispiele der Zusammensetzung solcher für Werkzeuge benutzten Wolframstähle sind folgende:

	Kohlenstoff	Silicium	Wolfram	Mangan
Bochumer Wolframstahl, von mir untersucht	1,43	0,19	1,94	0,44
Steirischer „ „ „ „	1,20	0,21	6,45	0,35
Englischer „ „ „ „	1,70	0,82	8,25	1,26
Desgl. Wolframstahl, von Gintl „	0,38	0,76	8,74	2,48
Desgl. „ „ Heeren „	0,42	0,76	8,81	2,57

Chromstahl, dessen Chromgehalt jedoch selten mehr als 2 Hunderttheile, häufig weniger als 1 Hunderttheil beträgt, wird, obschon seltener als Wolframstahl, zur Anfertigung von Werkzeugen benutzt, ferner für Bleche, welche einen hohen Härtegrad besitzen sollen (z. B. für diebessichere Geldschränke, Panzerplatten), ausserdem für gegossene Geschosse zum Durchbohren von harten Panzern. Für verschiedene andere Verwendungen ist er versuchsweise herangezogen worden (z. B. für Federn, Eisenbahnradreifen), ohne sich jedoch bewährt zu haben. Wie Hadfield fand, ist die durch Chrom allein erreichbare Härtesteigerung nicht bedeutend; sie wird aber beträchtlich, wenn Kohlenstoff und Chrom neben einander zugegen sind, so dass auf diese Weise sich ein härteres Material als durch Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes allein erzielen lässt.[1])

Beispiele der Zusammensetzung.[2])

	Kohlenstoff	Chrom	Mangan	Silicium
Stahl von Unieux nach Brustlein . .	0,60	2,20	n. best.	n. best.
Stahl von Brooklyn nach Thurston . .	0,63	1,04	0,05	0,15
Stahl ebendaher, nach Thurston . . .	0.44	0,92	0,03	0,12
Stahl ebendaher, nach Howe (der Stahl enthielt auch 0,73 Hundertth. Wolfram)	0,29	1,32	0,15	0,15

Nickelstahl hat seit 1885 zur Anfertigung von Schiffspanzern Verwendung gefunden. Wie das Chrom steigert Nickel die Härte besonders dann in starkem Maasse, wenn daneben ein nicht zu geringer Kohlenstoffgehalt zugegen ist; jene Panzerplatten pflegen deshalb mindestens 0,5 Hunderttheile Kohlenstoff zu enthalten.

1) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 21.

2) Zahlreiche fernere Beispiele enthält Howe, Metallurgy of Steel, vol. I, p. 76.

Beispiele der Zusammensetzung.

	Kohlenstoff	Nickel	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel
Nickelstahl zu Panzerplatten[1]	0,90	2,39	1,05	0,06	0,02	0,01
Wie vorstehend	0,88	2,50	1,10	0,08	0,02	0,02
„ „	0,26	2,67	0,79	0,05	0,07	0,01

Diejenige Härte, welche das gegossene oder das in Rothgluth bearbeitete und dann an der Luft abgekühlte schmiedbare Eisen besitzt, also seinen gewöhnlichen Härtegrad, nennt man seine Naturhärte. Ueber das Maass dieser Naturhärte hinaus lässt sich die Härte des Eisens in mehr oder minder starkem Maasse steigern, wenn das Eisen im kalten Zustande anhaltend bearbeitet, einer Formveränderung unterworfen wird; zweitens auch, wenn man es, insbesondere bei höherem Kohlenstoffgehalte, auf eine Temperatur von etwa 700 Grad C. (Rothgluth) erhitzt und dann rasch abkühlt, z. B. durch Eintauchen in Wasser.[2])

Die erstere Eigenschaft, die Zunahme der Härte bei stattfindender Formveränderung im kalten Zustande, theilt das Eisen mit fast allen übrigen Metallen; aber das Maass dieser Härtesteigerung durch die nämliche Formveränderung zeigt bei verschiedenen Metallen sowohl als bei den verschiedenen Eisensorten beachtenswerthe Abweichungen. Im Allgemeinen nimmt die Härte um so rascher zu, je grösser sie bereits im unbearbeiteten Metalle war; und da durch Legirung mit anderen Körpern stets die Härte eines reinen Metalls gesteigert wird, tritt jene durch Bearbeitung hervorgerufene Härtesteigerung auch deutlicher in Legirungen als in reinen Metallen, deutlicher in kohlenstoff-, mangan-, chrom- oder wolframhaltigem Eisen als in reinem Eisen hervor.

Diese Härtezunahme der Metalle bei der Bearbeitung im kalten Zustande verdient alle Beachtung. Mit ihr geht, wie unten noch ausführlicher erörtert werden wird, eine Steigerung der Sprödigkeit Hand in Hand, und infolge hiervon würde eine fernere Bearbeitung überhaupt sehr bald unmöglich werden, wenn nicht glücklicherweise durch ein sehr einfaches Mittel die Möglichkeit gegeben wäre, die gesteigerte Härte und Sprödigkeit auf ihr ursprüngliches Maass wieder zurückzuführen: ein Ausglühen des hart gewordenen Metalls. Welche Temperatur hierbei anzuwenden ist, richtet sich nach der Beschaffenheit des Metalls; bei den verschiedenen Eisensorten und den meisten in hoher Temperatur schmelzenden Metallen ist Rothgluth am geeignetsten.

Die Härtungsfähigkeit der kohlenstoffreicheren Sorten schmiedbaren Eisens ist schon mehrfach als das wesentlichste Unterscheidungsmerkmal des Stahles vom kohlenstoffarmen Schmiedeeisen bezeichnet worden. Bei übrigens reinem Eisen liegt die Grenze der deutlichen

1) Aus dem Journal of the Franklin Institute 1892, p. 427 in den Verhandlungen d. Vereins z. Beförderung d. Gewerbfleisses 1893, Seite 79.

2) Seite 276. Die Härtungstemperatur liegt um so höher, je kohlenstoffärmer das Eisen ist.

Härtbarkeit und somit die Grenze zwischen Stahl und Schmiedeeisen bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 0,5 Hunderttheilen, jedoch zeigt in dieser Beziehung das Flusseisen einen Unterschied vom Schweisseisen, indem es leichter als dieses auch bei niedrigem Kohlenstoffgehalte Härtung erkennen lässt.

Die Ursache der beim Ablöschen des Stahles stattfindenden Härtesteigerung ergiebt sich aus den auf Seite 276 und 278 gemachten Mittheilungen über die Kohlenstoffformen. Glühendes schmiedbares Eisen enthält nur Härtungskohle; beim langsamen Abkühlen entsteht in der oben genannten Temperatur das Karbid, zwischen der Hauptmasse sich ablagernd, und das Eisen wird um so ärmer an Härtungskohle, je langsamer die Abkühlung sich vollzieht. Die auf Seite 280 mitgetheilten Analysen eines Stahles im naturharten und im abgelöschten Zustande lassen den Unterschied erkennen. Mit dem Gehalte an Härtungskohle steigt und fällt aber der Härtegrad des Eisens.

Aus dieser Erklärung des Vorganges der Härtung folgt, dass kein anderer Körper im Stande ist, den Kohlenstoff hierbei zu ersetzen, und dass mit Abnahme des Kohlenstoffgehaltes auch die Härtungsfähigkeit des Eisens geringer werden muss. Wohl aber sind einzelne Körper befähigt, die Härtungsfähigkeit kohlenstoffhaltigen Eisens zu erhöhen, indem sie den Kohlenstoffgehalt veranlassen, in reichlicherer Menge als Härtungskohle zurückzubleiben, d. h. indem sie die Karbidbildung erschweren.[1]) Hierher gehören vornehmlich Mangan und Chrom. Während bei dem gewöhnlichen, auf Seite 280 besprochenen Werkzeugstahle mit nur 0,11 Hunderttheilen Mangan die Menge der Härtungskohle zur Menge der Karbidkohle im naturharten Zustande sich wie $\frac{0,22}{0,71} = 0,3$, im gehärteten Zustande wie $\frac{0,68}{0,38} = 1,7$ verhält, betrug nach Untersuchungen von Mukai bei einem Manganstahle mit 10,6 Hunderttheilen Mangan und 1,2 Gesammtkohlenstoff jenes Verhältniss im naturharten Zustande $\frac{0,67}{0,59} = 1,1$ und im gehärteten Zustande $\frac{0,82}{0,28} = 2,9$.[2]) Dass Chrom in gleicher Weise das Verhältniss der Kohlenstoffformen beeinflusse, lässt sich aus Hadfields schon mehrfach erwähnten Untersuchungen schliessen. Chromstahl mit 2 Hunderttheilen oder mehr Chrom bei 0,77 Hunderttheilen Kohlenstoff erhält schon bei gewöhnlicher Abkühlung in der Luft einen höheren Härtegrad, wenn er zu dünnen Querschnitten ausgestreckt ist, als wenn seine Abkühlung durch dickere Querschnitte etwas verzögert wird. Auch Wolfram scheint in dieser Weise wirksam zu sein.

1) Auch im abgelöschten Stahl ist, wie die Analysen auf Seite 280 erkennen lassen, stets ein Theil des Kohlenstoffs als Karbidkohle zugegen. Je geringer das Verhältniss der entstandenen Karbidkohle zur Härtungskohle ist, desto härter ist der Stahl.

2) Studien über Manganstahl, Seite 18. Bei einem zweiten Manganstahle mit 12,3 Hunderttheilen Mangan und etwa 1,2 Hunderttheilen Kohle war der Unterschied nicht so deutlich: Verhältniss $\frac{\text{Härtungskohle}}{\text{Karbidkohle}}$ im naturharten Zustande $\frac{0,42}{0,77} = 0,5$, im gehärteten Zustande $\frac{0,75}{0,41} = 1,8$.

Die Härte, welche der Stahl beim Härten annimmt, pflegt man Glashärte zu nennen, obgleich nur kohlenstoffreicher Stahl im gehärteten Zustande Glas ritzt.

In jedem Falle kann Härtung überhaupt nur dann eintreten, wenn der Stahl auf die erwähnte Härtungstemperatur erhitzt worden war, ehe die Abkühlung stattfand. Eine Erhitzung auf eine niedrigere Temperatur erzeugt nicht etwa eine schwächere Härtung, sondern bleibt überhaupt wirkungslos; eine stärkere Erhitzung als auf jene Härtungstemperatur ist nicht allein nutzlos, da sie keineswegs zur Erreichung höherer Härtegrade beiträgt, sondern bewirkt auch leicht eine Verschlechterung der Stahlbeschaffenheit. Geschieht das Härten durch Eintauchen des glühenden Stahles in Wasser, so kann durch die übermässige Erhitzung sogar der Erfolg des Härtens verringert werden, indem die überschüssige, von dem Stahle aufgenommene Wärme zunächst, ehe Härtung eintritt, an das Wasser abgegeben und zu dessen Erwärmung verbraucht wird; ist alsdann der Stahl auf die Härtungstemperatur abgekühlt, so geht seine fernere Abkühlung durch das wärmere Wasser weniger rasch vor sich, und die Härtung fällt schwächer aus.

Im Betriebe erkennt man den Zeitpunkt der Erhitzung, bei welchem die Härtung des Stahles vorgenommen werden muss, an dem Grade des Erglühens; dunkle Rothgluth zeigt bei härterem, Kirschrothgluth bei weicherem Stahle die geeignete Temperatur an.

Durch das Härten aber und die damit verknüpfte ungleichmässige Abkühlung der äusseren und inneren Theile wird Spannung in dem gehärteten Gegenstande erzeugt, welche bei unmittelbarer Benutzung nach dem Härten leicht ein Zerspringen zur Folge haben würde. Man beseitigt diese Spannung durch vorsichtiges Erwärmen nach dem Härten, Anlassen des Stahles genannt, welches jedoch unvermeidlicher Weise auch eine Abminderung des zuerst erzeugten Härtegrades mit sich bringt. Das Maass, um welches bei der Erwärmung die künstlich erzeugte Härte sich verringert, ist von dem Grade der Erwärmung unmittelbar abhängig; eine stärkere Erwärmung ruft stärkere Abminderung der Härte hervor, d. h. der Stahl wird weicher, und umgekehrt. Aber auch die Zeitdauer der Erwärmung ist hierbei von Einfluss. Soll daher eine Abminderung der Härte nur bis zu einem genau vorgeschriebenen Grade bewirkt werden, so ist ein Ablöschen des Stahles in Wasser in dem Augenblicke erforderlich, wo jener Zeitpunkt erreicht ist; andernfalls würde der Stahl, auch ohne dass die künstliche Erwärmung fortgesetzt wird, durch die bereits aufgenommene Wärme eine fernere Einbusse an seiner Härte erleiden.

Bei dem Anlassen wird eine entsprechende Menge der vorhandenen Härtungskohle in Karbidkohle umgewandelt (vergleiche die Analysen auf Seite 280). Eine abermalige Härtung bei dem Abkühlen des angelassenen Stahles in Wasser kann nicht eintreten, da die Anlasstemperatur in jedem Falle weit unter der Härtungstemperatur liegt.

Schon eine verhältnissmässig unbedeutende Erwärmung des gehärteten Stahles ruft, wenn sie lange fortgesetzt oder öfters wiederholt wird, eine deutliche Abminderung der Härte hervor. Eine gute Hausfrau weiss sehr wohl, auch wenn sie die Ursache nicht kennt, dass Tischmesser, wenn sie öfters in heissem statt in lauwarmem

Wasser gewaschen werden, leicht sich abstumpfen, d. h. an Härte verlieren.

Den beim Anlassen entstandenen Härtegrad nennt man die Anlasshärte. Sie nähert sich um so mehr der Naturhärte, je stärker die Erwärmung beim Anlassen war und je weniger rasch man den Stahl nach dem Erwärmen abkühlte. Wie weit beim Anlassen die Härteabnahme fortgeschritten ist, erkennt man an den Anlauffarben, welche an einer blank geschabten Stelle des Stahlstückes infolge der Erwärmung erscheinen. Sie werden durch die Entstehung eines Oxydhäutchens hervorgerufen, welches immer stärker wird und seine Farbe mehr und mehr ändert, je weiter die Erhitzung fortschreitet. Obgleich die Töne dieser Anlauffarben und die Temperaturgrade, bei welchen sie erscheinen, bei verschiedenen Stahlsorten nicht immer ganz genau übereinstimmen, zeigt sich doch hinsichtlich des Erscheinens und Verschwindens der Farben im Grossen und Ganzen stets die nämliche Reihenfolge. Zuerst, bei einer Temperatur von etwas über 200° C., erscheint hellgelbe Farbe; bei 240° C. wird sie dunkler, um bei etwa 250° C. einen bräunlichen Ton anzunehmen und bei 265° C. in Braunroth überzugehen. Bei 275° C. erscheint purpurrothe Farbe; bei 285° C. bekommt sie einen Stich in's Blaue (violet), bei 295° C. ist sie kornblumenblau, wird bei 315° C. hellblau oder graublau und bei 330° C. grau.

Wie sich aus dem oben Gesagten ergiebt, ist es zur Erreichung des einer bestimmten Anlauffarbe entsprechenden Härtegrades erforderlich, dass der betreffende Gegenstand, sobald die betreffende Anlauffarbe erscheint, durch Eintauchen in Wasser abgekühlt werde. Bei längerem Warmbleiben würde, auch ohne dass eine fernere Erwärmung von aussen stattfindet, die entstandene Anlauffarbe und mit ihr der Härtegrad sich rasch ändern. Der Stahl würde weicher werden, als beabsichtigt war.

Je härter (kohlenstoffreicher) ein Stahl von Natur ist, desto grösser ist auch sein beim Härten entstehender Härtegrad und desto beträchtlicher seine Anlasshärte bei bestimmter Anlauffarbe. Ein von Natur härterer Stahl bedarf also eines stärkern Anlassens nach dem Härten als ein von Natur weniger harter, um einen gleichen Härtegrad als dieser zu erhalten; je stärker aber ein Stahl angelassen wird, desto mehr vermindert sich die dem gehärteten Stahle innewohnende Spannung und Sprödigkeit, desto weniger ist er zum Zerspringen bei der Benutzung geneigt. Von diesem Gesichtspunkte aus würde es zweckmässig erscheinen, für alle Verwendungen thunlichst harten Stahl zu benutzen und ihn um so stärker anzulassen, je weniger gross sein Härtegrad bei der betreffenden Verwendung zu sein braucht. Harter Stahl ist aber schon von Natur spröder und gegen die Einflüsse der chemischen Zusammensetzung, zumal des Phosphorgehaltes (Seite 290), empfindlicher als weniger harter, erfordert bei der Herstellung und Verarbeitung, insbesondere auch beim Härten und Anlassen, grössere Sorgfalt als dieser und ist daher kostspieliger und schwieriger zu behandeln. Man wählt deshalb den Stahl der betreffenden Verwendung gemäss aus und berücksichtigt beim Anlassen sowohl die beabsichtigte Verwendung als die Naturhärte des Stahles. Beispielsweise pflegt man für Rasirmesser und sehr harte Werkzeuge Stahl mit 1,2 bis 1,4 Hun-

derttheilen Kohle zu benutzen und die fertigen Gegenstände bis etwa zur braunrothen Farbe anzulassen; für härtere Dreh- und Hobelstähle dient Stahl mit 1 bis 1,2 Hunderttheilen Kohle, welcher bis zur dunkelgelben bis purpurrothen Farbe angelassen wird, je nachdem die zu bearbeitenden Körper härter oder weniger hart sind; Feilen, harte Steinbohrer, Fräser pflegen aus Stahl mit etwa 0,9 bis 1 Hunderttheilen Kohenstoff gefertigt und bis zur rothen Farbe angelassen zu werden [1]; für Prägstempel benutzt man Stahl mit 0,7 bis 0,8 Hunderttheilen Kohle, den man nur bis zur gelben Farbe anlässt; für Tischmesser, gewöhnliche Hämmer kommt Stahl mit 0,6 bis 0,7 Hunderttheilen Kohle zur Verwendung, der bis zur blauen Farbe angelassen wird.

Ist der Stahl an und für sich sehr hart und die stattfindende Abkühlung beim Härten sehr bedeutend, so kann infolge der ungleichen Zusammenziehung der äusseren und inneren Theile der Stahl Risse bekommen oder in Stücke zerspringen. Die Gefahr wächst, wenn ein Gegenstand mit sehr verschiedenen Querschnitten gehärtet wird. Statt des kalten Wassers zum Ablöschen wendet man in solchen Fällen schwach erwärmtes oder auch Flüssigkeiten an, welche die Wärme weniger gut als Wasser leiten (z. B. Oel, Seifenwasser, Kalkmilch). Weniger harter Stahl dagegen, welcher der Gefahr des Zerspringens in geringerem Maasse unterworfen ist, lässt sich stärker härten, wenn er in gut wärmeleitenden Flüssigkeiten (schwefelsäurehaltigem Wasser oder dergl.) abgelöscht wird. [2]

Durch das Härten des Stahles wird sein spezifisches Gewicht verringert. Der durch die Erhitzung ausgedehnte Körper kann sich offenbar bei der plötzlichen Abkühlung nicht so rasch zusammenziehen, als er seine Wärme verliert, und sobald die Abkühlung beendet ist, muss auch die Zusammenziehung aufhören; die Abmessungen bleiben grösser als vor dem Härten. Ein gehärteter Stempel geht nicht mehr in eine Oeffnung, in welche er vorher genau hineingepasst war, ein gehärteter Draht nicht mehr durch ein Ziehloch, durch welches er vor dem Härten hindurchgezogen worden war. Es verdient jedoch Beachtung, dass diese Vergrösserung nur bei den Querschnittsabmessungen, nicht auch bei der Längenabmessung eines stabförmigen Gegenstandes wahrnehmbar ist; letztere wird sogar, wie Caron zuerst nachwies, beim Härten verkürzt. Aus eben diesem Grunde wird ein Stahlring kleiner im Durchmesser, wenn man ihn härtet.

Das Maass jener Verringerung des spezifischen Gewichtes oder der Vergrösserung der Querschnittsabmessungen beim Härten ist im Allgemeinen um so bedeutender, je stärker der Stahl ist und je stärker er vor dem Härten erhitzt wurde. Metcalf und Langley, welche verschieden harte Stahlsorten theils stärker, theils weniger stark erhitzten und dann härteten, fanden dabei folgende Aenderungen der spezifischen Gewichte [3]:

1) Bei Feilen wird nur die Angel blau angelassen, die eigentliche Feile bleibt glashart.

2) Näheres über das Verfahren des Härtens: Fridolin Reiser, Das Härten des Stahles. Leipzig 1881.

3) Zeitschr. d. berg- und hüttenmännischen Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 109.

	Kohlenstoffgehalt 0,529	0,649	0,841	0,871	1,005	1,079
	Spezifische Gewichte					
Ungehärtet	7,844	7,824	7,829	7,825	7,826	7,825
In Dunkelrothgluth gehärtet	7,831	7,806	7,812	7,790	7,812	7,811
„ Rothgluth „	7,826	7,849	7,808	7,773	7,789	7,798
„ Hellrothgluth „	7,823	7,830	7,780	7,758	7,755	7,769
„ Gelbgluth „	7,814	7,811	7,784	7,755	7,749	7,741
„ nahezu Weissgluth gehärtet	7,818	7,791	7,789	7,752	7,744	7,690

Beim Anlassen des gehärteten Stahles nimmt sein spezifisches Gewicht wieder zu, und beim Erscheinen der grauen Anlauffarbe hat es annähernd das ursprüngliche Maass, welches es vor dem Härten besass, erreicht.

7. Die Festigkeitseigenschaften.

a) Allgemeines.

Unter den verschiedenen Arten der Festigkeit, welche die Mechanik uns kennen lehrt, kommt beim schmiedbaren Eisen vorzugsweise die Zugfestigkeit in Betracht. In Folgendem ist daher auch vorzugsweise auf diese Bezug genommen.

Bei Verwendung der Körper zu Bauwerkstheilen müssen jedoch auch noch andere, der Festigkeit nahe stehende Eigenschaften berücksichtigt werden.

Hierher gehört zunächst die Zähigkeit, welche als das Maass des Widerstandes bezeichnet werden kann, welchen der Körper nach dem Ueberschreiten der Elastizitätsgrenze dem Zerreissen entgegensetzt. Wie die Festigkeit kann die Zähigkeit verschieden sein, je nachdem der Körper auf Zerreissen, Zerdrücken, Biegen u. s. w. in Anspruch genommen wird. Bei Ermittelung der Zugfestigkeit pflegt man die Zähigkeit entweder nach der stattgehabten Längenausdehnung des geprüften Stabes vor dem Zerreissen oder auch nach der Verringerung des Stabquerschnittes an der Zerreissungsstelle zu schätzen. Die Zähigkeit bildet in gewissem Sinne die Grundlage der Dehnbarkeit; je zäher aber ein Körper ist, um so weniger plötzlich kann seine Zertrümmerung stattfinden, und desto ungefährlicher bleiben vorübergehende äussere Einwirkungen (Erschütterungen, Stösse).

Um diese Thatsache zu verstehen, braucht man nur zu erwägen, dass für die durch die Zähigkeit eines Materiales bedingte Formveränderung mechanische Arbeit erforderlich ist.

Erleidet also der beanspruchte Gegenstand eine beträchtliche Formveränderung, ohne zu brechen, so wird die bei dem stattgehabten Stosse, der Erschütterung ausgeübte Arbeit zur Hervorbringung jener Formveränderung verbraucht; ist der Körper starr, so bewirkt die gleiche Beanspruchung den Bruch.

Im Uebrigen lehrt die Erfahrung, dass zur Erlangung eines sicheren Urtheils über die Widerstandsfähigkeit eines Eisens gegen Stösse die Ermittelung jener bei Festigkeitsprüfungen vor dem Bruch eintretenden

Formveränderungen allein nicht ausreichend ist, sondern dass wirkliche Stoss- oder Schlagversuche hierfür erforderlich sind. Auch steht die bei Zugversuchen eintretende Querschnittsverringerung keineswegs immer im gleichen Verhältnisse zu der Längenausdehnung, da sie auch unter übrigens gleichen Umständen bei der einen Eisensorte sich auf eine geringere Länge des Versuchsstückes beschränken kann und dann beträchtlicher erscheint, als bei einer anderen. Dass ein Vergleich der Festigkeitsziffern und eintretenden Formveränderungen überhaupt nur dann richtige Schlussfolgerungen auf die Güte des geprüften Materials ermöglicht, wenn die Abmessungen der Versuchsstücke, insbesondere die Grösse ihrer Querschnitte, gleich sind, möge hier vorläufig nur kurz erwähnt werden.

Durchschnittlich ist die Zähigkeit um so grösser, je weiter die Festigkeit und die Elastizitätsgrenze aus einander liegen. Sie verringert sich daher, wenn die Elastizitätsgrenze steigt, ohne dass auch die Festigkeit zunimmt.

Elastizität ist bekanntlich die Eigenschaft der Körper, vorübergehende Formveränderungen unter dem Einflusse von Kräften zu ertragen, deren Maass unterhalb der Elastizitätsgrenze bleibt. Auch für diese vorübergehenden Formveränderungen ist ein Arbeitsverbrauch erforderlich; und aus diesem Grunde ist auch ein elastischer Körper plötzlichem Zerspringen weniger ausgesetzt als ein weniger elastischer.

Körper, welche weder Zähigkeit noch Elastizität besitzen, also weder vorübergehende noch bleibende Formveränderungen ertragen, heissen spröde. Ihre Elastizitätsgrenze liegt nahe bei der Festigkeit, und ihr Elastizitätsmodul ist beträchtlich.

Die Festigkeit und die ihr verwandten soeben besprochenen Eigenschaften des schmiedbaren Eisens sind abhängig von der chemischen Zusammensetzung, dem Herstellungsverfahren und der vorausgegangenen mechanischen Bearbeitung. Die Grenzwerthe dieser Eigenschaften liegen deshalb bei verschiedenen Eisensorten häufig sehr weit auseinander; so beträgt beispielsweise die Zugfestigkeit einiger zwar geringwerthiger aber immerhin für untergeordnete Zwecke noch brauchbarer Eisensorten nicht mehr als 25 kg auf 1 qmm und steigt bei anderen auf mehr als 180 kg.

Im Allgemeinen besitzen diejenigen Eisensorten, deren Festigkeit das höchste Maass erreicht, eine nur geringe Zähigkeit, und umgekehrt wird die grösste Zähigkeit nur bei solchem Eisen gefunden, dessen Festigkeit nicht über das mittlere Maass hinausgeht.

Je vorzüglicher das Eisen ist, desto grösser ist das Maass beider Eigenschaften neben einander, und umgekehrt. In Rücksicht hierauf ist man mehrfach bemüht gewesen, durch geeignete Vereinigung der Ziffernwerthe beider Eigenschaften zu einer einzigen Ziffer, der Güte- oder Qualitätsziffer, einen Maassstab für die Güte des betreffenden Eisens zu erhalten. Wöhler schlug vor, die Zugfestigkeit des Eisens in Kilogrammen auf 1 qmm und die eintretende Querschnittsverringerung an der Bruchstelle, ausgedrückt in Hunderttheilen des ursprünglichen Querschnitts, zusammenzuzählen und diese Summe als Güte-

ziffer zu benutzen. Besitzt z. B. ein Eisen eine Zugfestigkeit von 57 kg auf 1 qmm und eine Querschnittsverringerung von 40 Hunderttheilen, so wäre die Güteziffer 57 + 40 = 97; ein anderes Eisen möge eine Festigkeit von 43 kg und eine Querschnittsverringerung von 45 Hunderttheilen besitzen, so wäre seine Güteziffer 43 + 45 = 88, u. s. f. Da es aber für eine bestimmte Verwendung des Eisens nicht gleichgültig ist, ob es bei gleicher Güteziffer eine hohe Festigkeit und geringe Zähigkeit oder hohe Zähigkeit und geringe Festigkeit besitzt, soll bei Benutzung einer solchen Güteziffer für jede der beiden Eigenschaften ein zulässiges geringstes Maass vorgeschrieben werden, wobei jedoch die Güteziffer höher sein soll, als die Summe jener beiden Ziffern zusammen. Zahlreiche Eisenbahnverwaltungen haben seit 1878 in ihren Lieferungsbedingungen eine solche Güteziffer nach Wöhlers Verfahren vorgeschrieben.[1]) Mit Recht hat man jedoch dem Verfahren den Vorwurf gemacht, dass es einestheils widersinnig sei, zwei ganz verschiedene Begriffe — Belastung und Querschnittsverringerung — zusammenzuzählen, und dass anderntheils die messbare Querschnittsverringerung überhaupt keinen zuverlässigen Maassstab für die Widerstandsfähigkeit des Materiales gegen Erschütterungen abgeben kann.[2])

Auch ein von Tetmajer vorgeschlagenes Verfahren, die stattfindende Längenausdehnung mal der zum Bruche erforderlichen Belastung als Güteziffer zu verwenden[3]), hat sich nicht als wesentlich zuverlässiger erwiesen.

b) Einfluss des Herstellungsverfahrens.

Inwiefern die Verfahren im Einzelnen das Verhalten des Erzeugnisses beeinflussen, kann erst bei der späteren Besprechung ihres Verlaufes und ihrer Eigenthümlichkeiten Erörterung finden; aber auch die beiden Hauptgattungen des schmiedbaren Eisens, Schweisseisen und Flusseisen, zeigen beachtenswerthe Unterschiede.

Schweisseisen besteht aus zahlreichen, einzeln entstandenen und durch Schweissung vereinigten Eisenkörnern, zwischen denen Schlacke eingeschlossen ist; meistens ist es erforderlich, verschiedene, zum Zwecke des Auspressens der Schlacke zuvor auf dünne Querschnitte ausgestreckte Stücke erst wiederum durch Schweissung zu vereinigen. Jede Schweissfuge aber bedingt eine Verminderung der Festigkeit (Seite 656). Flusseisen besteht aus ungeschweissten Stücken und ist schlackenfrei. Daher ist Flusseisen das vorzüglichere Material, sofern seine chemische Zusammensetzung dem jedesmaligen Zwecke entspricht und seine Gewinnung wie seine Verarbeitung in sachgemässer Weise erfolgte. Bei gleicher Festigkeit besitzt es grössere Zähigkeit als Schweisseisen und bei gleicher Zähigkeit grössere Festigkeit.

Am deutlichsten spiegelt sich dieser Unterschied in den Ansprüchen, welche die Eisenhüttenleute selbst an das Verhalten des von ihnen erzeugten Schweiss- oder Flusseisens stellen. Nach den Vereinbarungen

1) Näheres hierüber: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band X, Seite 68.

2) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 7 und 113; Civilingenieur 1884, Seite 93.

3) „Stahl und Eisen" 1881, Seite 100 und 190; 1882, Seite 365.

des Vereines deutscher Eisenhüttenleute [1]) soll Bauwerksschweisseisen eine Zugfestigkeit von mindestens 34 kg auf 1 qmm bei 12 Hunderttheilen Längenausdehnung, Bauwerksflusseisen eine Zugfestigkeit von mindestens 37 kg bei 20 Hunderttheilen Längenausdehnung aufweisen; Mantelbleche zu Dampfkesseln aus Schweisseisen sollen mindestens 30 kg Festigkeit bei 5 Hunderttheilen Längenausdehnung, aus Flusseisen dagegen mindestens 36 kg Festigkeit bei 20 Hunderttheilen Längenausdehnung besitzen. Gleich grosse Unterschiede zeigen sich bei allen übrigen Verwendungen.

Wenn trotzdem auf der Erde noch fast ebensoviel Schweisseisen als Flusseisen erzeugt und verbraucht wird, so liefern verschiedene Umstände die Erklärung dafür. Schweisseisen ist durchschnittlich leichter schmied- und leichter schweissbar als Flusseisen und wird weniger leicht als dieses durch Ueberhitzung verdorben. Es ist aus diesem Grunde dem Schmiede ein bequemer zu verarbeitendes Material. Aber auch bei der späteren Bearbeitung und Benutzung ist Flusseisen empfindlicher als Schweisseisen gegen alle Einflüsse, welche eine Schädigung seines Verhaltens verursachen können. In Blauhitze (S. 648) ist es stärker brüchig als Schweisseisen, durch Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur (deren Einwirkung auf die Festigkeitseigenschaften unten ausführlichere Besprechung findet) wird es leichter als dieses spröde; Ungleichmässigkeiten bei der Erhitzung eines kalten oder Abkühlung eines glühenden Flusseisenstückes (z. B. einer grösseren Blechtafel) können innere Spannungen hervorrufen, welche ein plötzliches Zerspringen, wie bei einem vollständig spröden Metalle, zur Folge haben, während gleiche Gegenstände aus Schweisseisen sich als minder empfindlich gegen jene Einflüsse zu erweisen pflegen. Die Nichtbeachtung dieser Unterschiede hat nicht selten Misserfolge hervorgerufen und ein Misstrauen gegen die Benutzung des Flusseisens erweckt, welches erst völlig schwinden wird, wenn auch jeder Arbeiter die Erkenntniss erlangt hat, dass das Flusseisen eine abweichende und zugleich umsichtigere Behandlung erheischt als Schweisseisen.

c) Einfluss der chemischen Zusammensetzung.

Das reinste Eisen besitzt durchschnittlich die grösste Zähigkeit, aber eine nur mässige Zerreissungsfestigkeit. Durch die Anwesenheit fremder Körper wird in allen Fällen die Zähigkeit verringert; die Festigkeit wird durch einzelne Körper, sofern ihre Menge eine gewisse Grenze nicht überschreitet, gesteigert, durch andere verringert. Die Grenze, über welche hinaus eine Anreicherung jener Körper, welche in kleinen Mengen die Festigkeit steigern, eher eine Abminderung als eine fernere Erhöhung der Festigkeit bewirkt, liegt verschieden hoch, bei den Metalloiden durchschnittlich tiefer als bei den Metallen, oft erheblich unter einem Gehalte von 1 Hunderttheil. Ihre genaue Erkennung wird durch den Umstand erschwert, dass gewöhnlich mehrere Fremdkörper neben einander auftreten, welche in abweichender Weise das Verhalten des Eisens beeinflussen.

1) Vorschriften für Lieferungen von Eisen und Stahl, aufgestellt vom Verein deutscher Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1893.

Einfluss des Kohlenstoffgehaltes. Man pflegt anzunehmen, dass Eisen, welches keine grossen Mengen von Fremdkörpern neben dem Kohlenstoff enthält, seine höchste Festigkeit bei etwa 1 Hunderttheil Kohlenstoff oder wenig mehr erreicht; zuverlässige vergleichende Ermittelungen liegen jedoch nur hinsichtlich des Flusseisens mit verschiedenem Kohlenstoffgehalte vor. Jedenfalls verringert sich die Zähigkeit rasch, wenn der Kohlenstoffgehalt zunimmt, und ist bei 1 Hunderttheil Kohlenstoff verschwindend klein.

Beispiele für den Einfluss des Kohlenstoffgehaltes.

	Zusammensetzung					Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung beim Bruche
	Kohlenstoff	Mangan	Phosphor	Silicium	Schwefel	kg	kg	Hunderttheile
Martinflusseisen von Terrenoire in gewalzten Stäben von 20 mm Durchmesser[1] . . .	0,15	0,21	0,04	Sp.	Sp.	36,4	18,2	32,3
Desgleichen	0,49	0,20	0,07	„	„	48,0	23,0	24,8
Desgleichen	0,71	0,26	0,06	„	„	68,2	30,8	10,0
Desgleichen	0,88	0,25	0,06	„	„	73,2	32,8	8,4
Desgleichen	1,05	0,25	0,06	„	„	86,0	39,5	5,2
Martinflusseisen von Reschitza in gewalzten Flachstäben von 22 mm Dicke und 90 mm Breite[2]	0,12	n. best.	n. best	n. best.	n. best	40,17	20,10	31,0
Desgleichen	0,28	„	„	„	„	49,58	23,58	28,6
Desgleichen	0,50	„	„	„	„	54,44	23,58	23,8
Desgleichen	0,75	„	„	„	„	69,79	25,70	17,3
Desgleichen	1,00	„	„	„	„	77,85	28,06	2,7
Desgleichen	1,15	„	„	„	„	60,35	36,06	—

Einfluss des Siliciumgehaltes. Fast immer ist der Siliciumgehalt des schmiedbaren Eisens niedriger als 0,7 Hunderttheile, und sein Einfluss ist in diesen Fällen nicht erheblich, sofern das Eisen arm an Kohlenstoff und Mangan ist. Durch Hadfield wurden die in nachstehender Zusammenstellung (Seite 669) enthaltenen Festigkeitsziffern ermittelt.[3])

Die höchste Festigkeit liegt hier bei einem Siliciumgehalte von 4,3 Hunderttheilen; aber die Elastizitätsgrenze dieses Eisens liegt ganz nahe an der Bruchgrenze, es ist sehr spröde. Ein Vergleich der Ziffern mit den oben über den Einfluss des Kohlenstoffgehaltes gegebenen lässt schliessen, dass bei gleicher Festigkeit das kohlenstoffhaltige

1) A. von Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878, Seite 89 und 91. Die angegebene Längenausdehnung ist auf 200 mm ursprüngliche Länge bezogen.

2) A. von Kerpely, im genannten Werke, Seite 160. Die angegebene Längenausdehnung ist auf 250 mm ursprüngliche Länge bezogen.

3) Journal of the Iron and Steel Institute 1889, II, p. 222; daraus in „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 1004. Die hier mitgetheilten Ziffern sind nur ein Auszug aus der grösseren von Hadfield gegebenen Zusammenstellung.

Beispiele für den Einfluss des Siliciumgehaltes.

	Zusammensetzung					Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 50 mm ursprüngliche Länge
	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Phosphor	kg	kg	Hundert-theile
Gewalzter Rundstab von $28^1/_2$ mm Durchmesser .	0,14	0,19	0,14	0,08	0,05	51,81	34,54	30,07
Wie vorstehend	0,18	0,77	0,21	n. best.	n. best.	53,38	39,25	29,50
„ „	0,19	1,57	0,28	„	„	58,87	43,96	31,10
„ „	0,20	2,14	0,25	0,06	0,04	62,01	48,67	18,48
„ „	0,20	2,68	0,25	n. best.	n. best.	66,72	50,24	17,60
„ „	0,21	3,40	0,29	„	„	74,57	54,94	11,10
„ „	0,25	4,30	0,36	„	„	76,93	70,65	0,00
„ „	0,26	5,08	0,29	0,06	0,04	75,36	nicht erkennbar	0,30

Eisen ein höheres Maass von Zähigkeit besitze als das siliciumhaltige.[1]) Man sieht einen erheblichen Siliciumgehalt in Eisensorten, welche ein hohes Maass von Zähigkeit besitzen sollen, nicht gern.

Einfluss des Mangangehaltes. Gewöhnliches Flusseisen pflegt bis 1 Hunderttheil Mangan, Schweisseisen, zumal wenn es kohlenstoffarm ist, höchstens 0,1 Hunderttheil Mangan zu enthalten. Dieser Mangangehalt beeinflusst ähnlich, aber in schwächerem Grade als Kohlenstoff, die Festigkeitseigenschaften: er steigert die Festigkeit unter Abminderung der Zähigkeit.

Beispiele für den Einfluss des Mangangehaltes.

	Zusammensetzung				Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Mangan	Kohlenstoff	Phosphor	Silicium	kg	kg	Hundert-theile
Martinflusseisen von Terrenoire in Stäben von 20 mm Durchmesser[2]) . .	0,52	0,45	0,06	Sp.	51,8	26,3	24,5
Wie vorstehend	1,06	0,46	0,07	„	61,1	31,2	21,4
„ „	1,30	0,51	0,06	„	76,5	41,2	17,4
„ „	2,01	0,56	0,06	„	88,5	47,2	10,5
Tiegelstahl von Kapfenberg[3]) . . .	0,30	1,00	0,09	0,26	90,7	n. best.	11,5
Wie vorstehend	2,33	0,71	0,04	0,43	96,1	„	5,53

1) Ein unmittelbarer Vergleich der Ziffern der stattgehabten Längenausdehnung würde hier unzutreffend sein, weil diese Längenausdehnung bei dem kohlenstoffhaltigen Eisen auf 200 und 250 mm ursprüngliche Länge, bei dem siliciumhaltigen auf nur 50 mm Länge bezogen ist. Je geringer diese ursprüngliche Länge ist, desto höher fallen die Ziffern der bezüglichen Längenausdehnung aus.

2) A. v. Kerpely, Eisen und Stahl, Seite 92. Die Längenausdehnung ist auf 200 mm ursprüngliche Länge bezogen.

3) A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 78. Die Abmessungen der geprüften Stäbe sind nicht angegeben.

Bei Prüfung von geschmiedetem, naturhartem Manganstahl in Stäben von 19 mm Durchmesser fand Hadfield unter anderen die nachstehend angegebenen Werthe.[1]) Die Längenausdehnung ist auf 200 mm ursprüngliche Länge bezogen.

	Zusammensetzung			Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	kg	Hunderttheile
Hadfields Manganstahl .	0,40	0,15	2,30	87,9	6,0
„ „ .	0,40	0,09	3,89	59,5	1,0
„ „ .	0,47	0,44	7,22	42,3	2,0
„ „ .	0,61	0,30	9,37	51,8	5,0
„ „ .	0,85	0,28	14,01	56,5	2,0
„ „ .	1,60	0,26	19,10	81,6	1,0

Da der Kohlenstoffgehalt in den manganreicheren Proben weit höher ist als in den weniger manganreichen, geben die Ziffern kein ganz deutliches Bild des Einflusses eines hohen Mangangehaltes. Jedenfalls tritt bei der Steigerung des Mangangehaltes über 2 Hunderttheile hinaus eher eine Abnahme als eine Zunahme der Festigkeit ein, und der Stahl wird zugleich spröde.

Von den eigenthümlichen Aenderungen, welche die Festigkeitseigenschaften des Manganstahles durch Ablöschen in Wasser erleiden, wird unten (Einfluss des Härtens) die Rede sein.

Beispiele für den Einfluss des Chromgehaltes.

	Zusammensetzung				Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elasticitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Kohlenstoff	Chrom	Silicium	Mangan	kg	kg	Hunderttheile
Hadfields Chromstahl; in Stäben von 20 mm Durchmesser[2])	0,16	0,29	0,07	0,18	43,9	33,0	41,9
Wie vorstehend	0,12	0,84	0,08	0,18	49,5	34,5	40,0
„ „	0,21	1,51	0,14	0,12	59,6	37,7	37,1
„ „	0,41	3,17	0,18	0,28	100,5	47,1	21,6
„ „	0,86	6,89	0,31	0,29	113,8	62,8	13,5
„ „	0,71	9,18	0,36	0,25	95,8	47,1	17,6
Chromstahl aus Brooklyn; Abmessungen der Probestäbe nicht angegeben[3]) .	1,01	0,35	Sp.	Sp.	84,2	54,8	13,7
Chromstahl aus Döhlen; Abmessungen nicht angegeben[3])	0,94	0,51	0,12	0,00	86,9	n. best.	15,7

1) Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, p. 70.

2) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 20. Die Längenausdehnung ist auf 51 mm ursprüngliche Länge bezogen; ein Vergleich der Ziffern für die Längenausdehnung mit den oben mitgetheilten Ziffern der Proben mit verschiedenem Kohlenstoffgehalte ist daher nicht zulässig.

3) Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, Seite 115.

Einfluss eines Chromgehaltes. Eine zuverlässige Beurtheilung dieses Einflusses ist bis jetzt nicht möglich gewesen, weil es noch nicht gelang, chromreiches schmiedbares Eisen, welches nicht auch kohlenstoffreich ist, darzustellen. Mitunter ist die Behauptung ausgesprochen worden, dass man durch einen Chromzusatz zum schmiedbaren Eisen (Flusseisen) dessen Festigkeit beträchtlich erhöhen könne, ohne in dem Maasse, wie durch Anreicherung des Kohlenstoffgehaltes, die Sprödigkeit zu steigern; der Beweis hierfür aber fehlt. Dass Chromstahl mit 1 bis 6 Hunderttheilen Chrom ein verhältnissmässig hohes Maass von Festigkeit besitzen kann, ist unbestreitbar; aber er ist mindestens ebenso spröde als reiner Kohlenstoffstahl, welcher die gleiche Festigkeit besitzt.

Einfluss eines Wolframgehaltes. Alle bisher untersuchten Proben wolframhaltigen schmiedbaren Eisens waren zugleich kohlenstoffreich; sie waren Wolframstahl. Sie zeigen übereinstimmend ziemlich hohe Festigkeit, aber auch bedeutende Sprödigkeit.

Beispiele für den Einfluss des Wolframgehaltes.[1])

	Zusammensetzung				Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Wolfram	Kohlenstoff	Mangan	Silicium	kg	kg	Hunderttheile
Wolframstahl aus Bochum	1,94	1,43	0,44	0,19	96,53	n. best.	3,0
„ unbekannten Ursprunges	2,58	1,36	0,25	0,42	92,70	„	2,0
Wolframstahl aus Steiermark . . .	6,45	1,20	0,34	0,21	133,9	55,1	0,7

Einfluss eines Nickelgehaltes. Trotz des hohen Preises des Nickels im Vergleiche zu dem des Eisens hat man, wie schon früher erwähnt wurde, seit 1885 angefangen, dem Flusseisen bei seiner Herstellung im Tiegel oder Martinofen einen Nickelzusatz zu geben, wenn die Aufgabe vorliegt, für gewisse Verwendungen, bei welchen der Kostenpunkt weniger von Belang ist (insbesondere für Darstellung von Panzerplatten), ein Erzeugniss zu gewinnen, welches sich durch Härte und Festigkeit auszeichnet und leicht walzbar ist, ohne sehr spröde zu sein. Da sich Nickel fast frei von Kohlenstoff herstellen lässt, ist man leichter im Stande, bei Zusatz von Nickel den Kohlenstoffgehalt nach Belieben zu regeln, als z. B. bei Zusatz von Chrom; ein anderer Vorzug des Nickels ist seine Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung oxydirender Körper in hoher Temperatur. Das beim Schmelzen zugesetzte Nickel findet sich vollständig im Eisen wieder. (Beispiele auf S. 672.)

Die Ziffern reichen noch nicht aus, ein vollständig klares Bild über den Einfluss des Nickelgehaltes auf die Festigkeitseigenschaften zu geben, zumal da der Kohlenstoff- und Mangangehalt der untersuchten Proben ziemlich stark abweicht; auch die sonstigen in den schon ge-

1) Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, Seite 119. Die Abmessungen der geprüften Stäbe sind nicht angegeben.

Beispiele für den Einfluss des Nickelgehaltes.

	Zusammensetzung			Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Kohlenstoff	Nickel	Mangan	kg	kg	Hunderttheile
						auf 200 mm Länge
Gewalzter Nickelstahl von einem französischen Werke, nach Riley[1]	0,35	3,0	0,57	80,3	49,4	n. best.
Wie vorstehend	0,50	5,0	0,34	81,8	48,9	14,0
„ „	0,27	25,0	0,85	80,9	60,1	10,5
						auf 100 mm Länge
Gewalzter und dann ausgeglühter Nickelstahl von einem andern Werke; nach Gautier[2]	0,57	3,53	0,07	73,2	n. best.	16,5
Wie vorstehend	0,30	4,56	n. best.	57,6	„	19,0
„ „	0,30	6,75	„	59,8	„	19,0

nannten Abhandlungen enthaltenen Angaben zeigen noch mancherlei Widersprüche. Ein Vergleich der Ziffern mit den über den Einfluss des Kohlenstoffgehaltes gegebenen lässt indess folgern, dass man in der That im Stande sei, durch einen Nickelzusatz von drei bis fünf Hunderttheilen eine nicht unbeträchtliche Erhöhung der Festigkeit und Elastizitätsgrenze zu erzielen, ohne auch die Sprödigkeit übermässig zu steigern. Bei jenem Nickelgehalte scheint aber auch die Grenze erreicht zu sein, deren Ueberschreiten für die Festigkeitseigenschaften eher schädlich als vortheilhaft sein würde; Stahl mit 25 Hunderttheilen Nickel ist nicht fester, aber spröder als solcher mit 5 Hunderttheilen.

Einfluss eines Aluminiumgehaltes. Um dem kohlenstoffarmen Flusseisen seinen beim Schmelzen aufgenommenen Sauerstoffgehalt zu entziehen, wendet man in der Neuzeit nicht selten einen Zusatz von Aluminium an, seitdem der Preis dieses Metalls im Vergleiche zu früher erheblich gesunken ist. Ein vollständiger Erfolg ist jedoch kaum ohne einen Ueberschuss des Zusatzes erreichbar; es ist deshalb wichtig, die Einflüsse zu kennen, welche durch einen im Eisen zurückbleibenden Aluminiumgehalt ausgeübt werden. Die umfassendsten Versuche hierüber sind durch Hadfield ausgeführt worden.[3]) (Beispiele auf S. 673.)

Der unmittelbare Einfluss des Aluminiumgehaltes auf die Festigkeitseigenschaften ist demnach nicht erheblich; doch tritt eine deutliche Abminderung der durch die Längenausdehnung gemessenen Zähigkeit ein, wenn der Aluminiumgehalt über 2 Hunderttheile hinausgeht. Auch die beim Bruche eintretende Querschnittsverringerung liess den gleichen Unterschied erkennen; sie betrug

bei einem Gehalte von	1,60 Hunderttheilen Aluminium	52,14 Hunderttheile
„ „ „ „	2,24 „ „	24,64 „
„ „ „ „	5,60 „ „	3,96 „

1) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 861.

2) Les Alliages ferro-métalliques. Extrait du bulletin de la société de l'industrie minérale, série 2, tome III, livr. 3 (1889).

3) Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 161.

Beispiele für den Einfluss des Aluminiumgehaltes (nach Hadfield).

	Zusammensetzung						Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 50 mm
	Kohlenstoff	Aluminium	Silicium	Schwefel	Phosphor	Mangan	kg	kg	Hunderttheile
Geschmiedeter und auf 20 mm Stärke abgedrehter Stab . . .	0,22	0,15	0,09	n. best.	n. best	0,07	45,5	32,9	36,7
Wie vorstehend . . .	0,15	0,38	0,18	0,10	0,04	0,18	47,1	36,1	37,8
„ „ . . .	0,20	0,61	0,12	n. best.	n. best.	0,11	43,9	33,7	38,4
„ „ . . .	0,26	1,16	0,15	0,08	0,04	0,11	51,8	36,1	32,0
„ „ . . .	0,21	1,60	0,18	n. best.	n. best.	0,18	48,6	31,4	32,7
„ „ . . .	0,24	2,24	0,18	„	„	0,32	51,0	33,7	20,6
„ „ . . .	0,22	5,60	0,20	0,08	0,03	0,22	59,6	n. best.	3,6

Einfluss des Phosphorgehaltes. Phosphor macht, wie schon auf Seite 290 hervorgehoben wurde, das Eisen spröde, kaltbrüchig, und sein Einfluss wächst mit dem Gehalte des Eisens an Kohlenstoff neben Phosphor. Stahl ist daher empfindlicher gegen jenen Einfluss als weiches Schmiedeeisen und darf, um benutzbar zu sein, um so weniger Phosphor enthalten, je kohlenstoffreicher er ist. Auch die Festigkeit gegenüber ruhiger Belastung pflegt durch Phosphor, sobald dessen Gehalt eine ziemlich niedrige Grenze übersteigt, verringert zu werden. Man pflegt daher den Phosphor als einen der gefährlichsten Feinde schmiedbaren Eisens zu betrachten.

Im Allgemeinen lässt sich beobachten, dass Schweisseisen minder empfindlich gegen den Einfluss eines gleichen Phosphorgehaltes ist als Flusseisen, also einen höheren Phosphorgehalt als dieses erträgt, ohne unbrauchbar zu werden. Auch im weichen Flusseisen muss ein Phosphorgehalt von 0,2 Hunderttheilen schon als recht erheblich bezeichnet werden, und er ist unzulässig, wenn das Eisen ein erhebliches Maass von Zähigkeit besitzen soll; Schweisseisen dagegen enthält mitunter 0,3, ja 0,4 Hunderttheile Phosphor, und wenn ein solcher Gehalt auch deutliche Sprödigkeit erzeugt, so pflegt ein derartiges Schweisseisen für gewöhnlichere Verwendungen doch noch gut brauchbar zu sein.

Die Erklärung hierfür liefert zum grossen Theile der Umstand, dass von dem im Schweisseisen nach dem gewöhnlichen Verfahren bestimmten Gesammtphosphorgehalte ein Theil der eingeschlossenen Schlacke angehört, das Eisen demnach in Wirklichkeit phosphorärmer ist, als die Untersuchung ergeben hatte. Jene eingeschlossene Schlacke aber pflegt, wenn man phosphorreiches Roheisen verarbeitete, sehr phosphorreich zu sein [1]), bei schlackenreichem Eisen — und gerade dieses pflegt sich als am wenigsten empfindlich gegen die Einflüsse des Phosphorgehaltes zu erweisen — kann leicht ein Viertel bis ein Fünftel des gefundenen Gesammtphosphorgehaltes der eingemengten Schlacke angehören und demnach ohne Einfluss auf das Verhalten des Eisens bleiben.

1) Einiges Nähere hierüber: „Stahl und Eisen" 1890, Seite 513.

Es kommt hinzu, dass man überhaupt höhere Ansprüche an das Verhalten des Flusseisens als an das des Schweisseisens zu stellen pflegt (Seite 666), und dass demnach der gleiche Phosphorgehalt in ersterem eine deutlichere Verschlechterung als in letzterem herbeiführt.

Ob der Phosphor, wie man behauptet hat, im Schweisseisen in anderer Form als im Flusseisen aufzutreten vermöge (wie der Kohlenstoff in verschiedenen Formen auftritt) und aus diesem Grunde auf ersteres anders als auf letzteres einwirke, bedarf noch fernerer Untersuchungen. Die bisher hierüber angestellten Versuche reichen nicht aus, die Annahme zu rechtfertigen.[1])

Beispiele für den Einfluss des Phosphorgehaltes.[2])

	Zusammensetzung				Zugfestigkeit auf 1 qmm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 200 mm Länge
	Phosphor	Kohlenstoff	Silicium	Schwefel	kg	kg	Hunderttheile
Schwedisches Frischfeuereisen in Stäben von 70 mm Breite, 9,5 mm Stärke, aus Blechen geschnitten. Prüfung in der Walzrichtung	0,015	0,06	0,04	0,02	34,0	13,4	20,5
Wie vorstehend	0,026	0,05	0,02	0,01	31,2	15,7	25,5
Schwedisches Puddeleisen, übrigens wie vorstehend	0,016	0,07	0,10	0,00	33,2	15,6	22,0
Yorkshire-Puddeleisen (best), übrigens wie vorstehend	0,09	0,07	0,06	n. best.	36,0	18,6	9,5
Wie vorstehend	0,12	0,15	0,21	„	38,9	17,7	9,5
Staffordshire-Puddeleisen, übrigens wie vorstehend	0,25	0,06	0,20	0,02	34,4	15,3	8,5

Eine Verringerung der durchschnittlichen Festigkeitsziffer hat zwar selbst bei einem Gehalte von 0,25 Hunderttheilen Phosphor noch nicht stattgefunden[3]); wohl aber zeigt sich deutlich an der geringeren Längenausdehnung des phosphorreicheren Eisens die Abnahme der Zähigkeit. Auch die Verringerung des Querschnittes beim Zerreissen liess in den vorstehend erwähnten Fällen — wenigstens im Grossen und Ganzen — denselben Einfluss des Phosphors erkennen; sie betrug bei dem

Frischfeuereisen mit 0,015 Hunderttheilen P	Frischfeuereisen mit 0,026 Hunderttheilen P	Puddeleisen mit 0,016 Hunderttheilen P	Puddeleisen mit 0,09 Hunderttheilen P	Puddeleisen mit 0,12 Hunderttheilen P	Puddeleisen mit 0,25 Hunderttheilen P
27,40 Hunderttheile	34,17 Hunderttheile	23,31 Hunderttheile	10,45 Hunderttheile	12,49 Hunderttheile	7,34 Hunderttheile

Einfluss des Kupfergehaltes, Schwefelgehaltes, Arsengehaltes. Der Gehalt des gewerblich dargestellten Eisens an diesen Körpern ist selten so hoch, dass sie deutliche Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften auszuüben vermöchten. Dass aber eine etwaige absichtliche Anrei-

1) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 180; 1888, Seite 182.

2) Nach A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris, Seite 177.

3) Ein gleiches Ergebniss erhielt v. Kerpely bei zahlreichen Versuchen mit ungarischen Eisensorten (Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 61).

cherung nur Misserfolge haben würde, folgt aus dem über Schmied- und Schweissbarkeit des Eisens Gesagten, sowie aus den allgemeineren Mittheilungen auf Seite 295, 300 und 305. Daher sind auch nur wenige vergleichende Untersuchungen über die Beeinflussung der Festigkeitseigenschaften angestellt worden.

Einige für Versuche gefertigte Proben sogenannten Kupferstahles mit einem Kupfergehalte bis zu 4 Hunderttheilen waren auf der Pariser Weltausstellung 1889 durch Holtzer ausgestellt; ihre Eigenschaften bestätigten die Thatsache, dass ein Kupferzusatz nutzlos ist.[1])

Ueber den Einfluss des Schwefelgehaltes auf die Festigkeitseigenschaften des Schweisseisens stellte v. Kerpely einige Versuche an, indem er im Puddelofen absichtlich einzelnen Luppen Schwefel zuführte.[2]) Bei der Prüfung von Rundstäben mit 10 mm Durchmesser ergab sich

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung Hundertheile
bei einem Schwefelgehalte von 0,05 Hunderttheilen (Durchschnittsziffern aus 4 Proben)	41,4	21,5
„ „ „ „ 0,12 „	38,0	20,4
„ „ „ „ 0,49 „	36,6	11,6

Eine Verschlechterung der Beschaffenheit des Eisens ist unverkennbar; aber auch bei dem im gewöhnlichen schmiedbaren Eisen niemals vorkommenden Schwefelgehalte von 0,49 Hunderttheilen steht sie nicht im Verhältnisse zu der Beeinflussung, welche die Schmied- und Schweissbarkeit des Eisens durch den Schwefelgehalt erleiden.

Einige schon früher erwähnte Versuche über den Einfluss des Arsens auf Flusseisen wurden durch Harbord und Tucker ausgeführt.[3]) Die Festigkeit gegenüber ruhiger Belastung war selbst bei einem Arsengehalte von 0,9 Hunderttheilen nicht merklich verringert, aber die Sprödigkeit nahm deutlich zu, je mehr der Arsengehalt stieg.

d) Einfluss der mechanischen Bearbeitung des schmiedbaren Eisens.

Jede Bearbeitung des Eisens, welche eine Formveränderung durch Verschiebung der Theilchen bewirkt (Schmieden, Pressen, Ziehen), ruft eine Aenderung der Festigkeitseigenschaften hervor. Die Festigkeit wächst, die Zähigkeit nimmt gewöhnlich ab. Das Maass dieser Aenderung ist von der Temperatur abhängig, in welcher die Bearbeitung vorgenommen wird, und im Allgemeinen um so beträchtlicher, je niedriger diese Temperatur ist; eine erhebliche Abminderung der Zähigkeit pflegt jedoch auch erkennbar zu sein, wenn die Bearbeitung in Blauhitze (Seite 649) ausgeführt wurde. Geschah die Bearbeitung in Hellrothgluth oder noch höherer Temperatur, so sind die eintretenden Ver-

1) Einiges Nähere hierüber in Howe, Metallurgy of steel, p. 368. Da der Gehalt der Proben an Kohlenstoff, Mangan u. s. w. in der genannten Quelle nicht angegeben ist, auch der Kupfergehalt nicht genau bestimmt wurde, besitzen die veröffentlichten Festigkeitsziffern nur geringen Werth, so dass von ihrer Wiedergabe hier abgesehen werden konnte.

2) A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 60.

3) „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 578.

änderungen meistens nicht sehr erheblich. Häufig ist in diesem Falle eine Zunahme der Festigkeit nachweisbar, ohne dass die Zähigkeit merkliche Einbusse erlitten hat, das Eisen hat eine Verbesserung seiner Beschaffenheit erfahren. Regelmässig tritt dieser Fall ein, wenn gegossene Flusseisenblöcke zur Gelbgluth erhitzt und dann bearbeitet werden. Ihr Gefüge wird gleichmässig feinkörniger, ihre Festigkeit nimmt zu, ihre Sprödigkeit ab.

Die Ursachen dieser Aenderungen sind lediglich in mechanischen Einflüssen zu suchen. Aenderungen der Kohlenstoffformen (wie beim Härten) treten nicht ein. Die meisten übrigen Metalle erleiden bei der Bearbeitung die gleichen Veränderungen. Wedding fand beim Prüfen von Stäben aus weichem Flusseisen, welche ursprünglich 42 qmm stark waren und dann in verschiedenen Temperaturen ausgeschmiedet wurden, nachstehende Werthe[1]):

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 50 mm ursprüngliche Länge Hunderttheile	Querschnittsverringerung Hunderttheile
Im Anlieferungszustande	44,5	21,9	57,8
Nach dem Ausschmieden in gewöhnlicher Temperatur auf 28 qmm Querschnitt .	74,2	2,3	32,1
Nach dem Ausschmieden in Blauhitze auf 23 qmm Querschnitt	53,5	5,9	54,1
Nach dem Ausschmieden in Rothgluth auf 28 qmm Querschnitt	47,8	17,6	63,8

Sattmann prüfte Stäbe, welche aus Blechen von 10 mm Stärke geschnitten worden waren. Die Bleche waren aus Flusseisen gewalzt, welches im Martinofen theils auf saurem (kieselsäurereichem), theils auf basischem Herde hergestellt worden war. Der Kohlenstoffgehalt des auf saurem Herde entstandenen Eisens betrug 0,19, der des anderen 0,15 Hunderttheile. Die erlangten Ergebnisse sind auf S. 677 zusammengestellt.[2])

Bei Anstellung von Biegeproben mit Stäben, welche in derselben Weise als bei den vorstehend aufgeführten Versuchen behandelt worden waren, brach der auf saurem Herde erzeugte und in Blauhitze geschmiedete Stab bei einer Biegung um 160°; der auf saurem Herde erzeugte und bei gelber Anlauffarbe geschmiedete Stab liess sich zwar um 180° biegen, zeigte aber an der Biegungsstelle kleine Anrisse, und ebenso verhielten sich die auf basischem Herde erzeugten und in Blauhitze oder bei gelber Anlauffarbe geschmiedeten Proben. Alle übrigen Versuchsstäbe ertrugen ohne Anstand Biegungen um 180°.

Die Ziffern lassen in deutlicher Weise die Einflüsse der Bearbeitung in verschiedenen Temperaturen erkennen. Eine bedeutende Steigerung der Festigkeit unter Abminderung der Dehnungsfähigkeit tritt ein, wenn die Bearbeitung in Temperaturen von 10° bis gegen 600° vorgenommen wird, und die stärksten Aenderungen zeigen sich nach

1) Sitzungsberichte des Vereins für Beförderung des Gewerbfleisses 1889, Seite 91.

2) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 551.

	Auf saurem Herde erzeugt			Auf basischem Herde erzeugt		
	Zug-festigkeit auf 1 qmm kg	Längen-ausdehnung auf 200 mm Hundert-theile	Quer-schnitts-verringerung Hundert-theile	Zug-festigkeit auf 1 qmm kg	Längen-ausdehnung auf 200 mm Hundert-theile	Quer-schnitts-verringerung Hundert-theile
Probestäbe vor dem Schmieden . .	41,1	24,5	59,0	36,0	28,5	65,0
Nach dem Ausschmieden von 10 mm auf 9 mm Dicke bei einer anfänglichen Temperatur						
von —19° C.	41,5	15,0	59,8	39,8	19,5	64,0
„ Zimmertemperatur (+ 10° C.)	49,3	7,0	55,7	44,6	7,5	64,6
„ etwa 40° C.	49,7	7,0	50,6	47,9	7,0	55,5
„ Erscheinen der gelben Anlauffarbe (etwa 200° C.). . . .	58,4	4,0	37,8	48,4	7,0	57,2
„ Blauhitze (etwa 320° C.) . .	59,2	4,0	47,2	48,4	7,0	56,7
„ Dunkelrothgluth (etwa 600° C.)	43,5	12,0	56,0	42,9	10,0	56,0
„ Kirschrothgluth (etwa 800° C.)	42,4	16,0	56,2	40,4	21,5	64,7
„ Hellrothgluth (etwa 1000° C.)	42,5	22,5	64,5	38,0	22,0	67,6
„ Gelbgluth (etwa 1100° C.). .	41,4	22,5	62,5	36,7	21,0	67,3
„ Weissgluth (etwa 1300° C.) .	41,5	18,5	61,0	36,2	19,5	68,9

der Bearbeitung in gelber und blauer Anlauffarbe (200 bis 320°). Geht die Temperatur aber über Dunkelrothgluth hinaus, so werden die Aenderungen unerheblicher, und die eintretende Querschnittsverringerung ist sogar beträchtlicher als vor dem Ausschmieden. Auffällig ist es, dass die Proben beim Schmieden in der niedrigsten Temperatur geringere Aenderungen ihrer Eigenschaften aufweisen als die mit einer Anfangstemperatur von + 10° C. geschmiedeten; aber die Thatsache wurde durch mehrmalige Versuche bestätigt.[1])

Sehr deutlich zeigt sich auch die besprochene Aenderung der Festigkeitseigenschaften bei dem in gewöhnlicher Temperatur stattfindenden Ziehen von Drähten. Ihre Festigkeit und Elastizitätsgrenze wächst, letztere noch rascher als erstere; sie werden spröder. Howard fand z. B., dass beim Ziehen eines Flusseisenstabes durch eine engere Oeffnung, welches eine Verkleinerung seines Durchmessers von 51,5 auf 49 mm zur Folge gehabt hatte, nachstehende Aenderungen seiner Festigkeitseigenschaften eingetreten waren[2]):

	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längen-ausdehnung Hunderttheile	Querschnitts-verringerung Hunderttheile
Vor dem Ziehen	19,0	39,0	23,9	42,9
Nach „ „	43,0	51,0	2,7	33,5

Versuche, welche von Thurston über den Einfluss des Walzens

1) Es muss hier daran erinnert werden, dass die angegebenen Temperaturen die Anfangstemperaturen waren, die Versuchsstücke aber, zumal die kälteren, deren spezifische Wärme geringer ist, sich beim Schmieden erwärmten. Es ist nicht schwer, einen nicht zu dicken Stab durch Schmieden unter einem Schnellhammer in kurzer Zeit bis zum Rothglühen zu erhitzen. Sattmann selbst vermuthet, dass die Stäbe mit + 10° Anfangstemperatur allmählich bis auf die für die Zähigkeit gefährliche Temperatur von über 200° erwärmt wurden, die kälteren Stäbe dagegen diese Temperatur nicht erreichten.

2) Aus der Revue universelle des mines, série 2, tome XVIII (1885, II), p. 338 in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 176.

sowohl in höherer als in gewöhnlicher Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften angestellt wurden [1]), ergaben unter anderen folgende Ziffern:

	Durchmesser der geprüften Stäbe mm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung Hunderttheile	Querschnittsverringerung Hundertheile	Schlagprobe [2]) mkg
Heiss gewalzt	44,4	21,7	34,1	30,0	41,4	1920
Kalt „	„	44,9	46,9	6,0	29,4	527
Heiss gewalzt	38,1	23,5	34,7	25,7	40,2	1572
Kalt „	„	40,0	48,0	7,6	28,3	668
Heiss gewalzt	19,0	16,6	34,5	21,6	37,8	1169
Kalt „	„	40,0	46,0	9,0	29,7	801
Heiss gewalzt	6,3	15,6	35,7	16,9	47,3	888
Kalt „	„	35,7	45,3	3,4	29,6	264

Die Zunahme der Sprödigkeit ist hierbei besonders deutlich erkennbar, wenn man die erforderliche Schlagarbeit zur Herbeiführung des Bruches vergleicht.

Mit der Elastizitätsgrenze wächst bei der Bearbeitung in Temperaturen unter Rothgluth auch der Elastizitätsmodul, d. h. die erforderliche Kraft, um eine bestimmte vorübergehende Formveränderung hervorzubringen. Thurston fand bei seinen hier erwähnten Versuchen, dass der Elastizitätsmodul des kalt gewalzten Eisens durchschnittlich 4,2 mal so gross war als der des heiss gewalzten. Das Eisen ist infolge dieser Aenderung seiner elastischen Eigenschaften steifer, widerstandsfähiger gegen Formveränderungen. Nicht selten macht man hiervon Anwendung. Drähte aus weichem Eisen lassen sich zu Springfedern, Drahtstiften und ähnlichen Zwecken erst benutzen, nachdem ihre Elastizitätsgrenze und ihr Elastizitätsmodul durch Ziehen in gewöhnlicher Temperatur um ein gewisses Maass gesteigert worden sind; Triebwellen werden mitunter im kaltem Zustande gewalzt, um widerstandsfähiger gegen Verdrehung zu werden [3]); auch für Kolben- und Ventilstangen hat man solches kalt gewalztes Eisen, welches noch den Vortheil besitzt, des Abdrehens nicht zu bedürfen, bisweilen benutzt.

Auch beim Lochen des Eisens vermittelst eines Stempels (Durchschlages) und Lochringes, welches als Vorarbeit für das spätere Nieten häufig ausgeführt wird, erleiden die Festigkeitseigenschaften Aenderungen, welche volle Beachtung verdienen. Rings um das entstehende Loch herum wird das Metall zusammengedrückt; seine Festigkeit wird an dieser Stelle grösser, aber mehr noch wächst seine Sprödigkeit. Barba arbeitete den Ring um das entstandene Loch

1) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 93 übrigens wie Fussanmerkung 2 Seite 677.

2) Es ist hierunter die durch Schläge ausgeübte mechanische Arbeit verstanden, welche zur Herbeiführung des Bruches erforderlich war.

3) Näheres hierüber in der schon genannten Abhandlung aus der Revue universelle in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 91; auch F. Kupelwieser, Das Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Philadelphia, Seite 132.

herum aus und fand ihn bei der Prüfung vollständig spröde.[1]) Bei der Beanspruchung eines solchen gelochten Eisengegenstandes auf Festigkeit ist daher das in grösserem Abstande vom Loche befindliche Metall nachgiebiger als der Ring um das Loch; die Folge davon ist eine ungleichmässige Vertheilung der Kraft. Der spröde Ring hat, nachdem das übrige Metall sich gedehnt hat, fast die ganze Kraftwirkung auszuhalten, und ein vom Loche ausgehender Bruch tritt ein. Vergleicht man daher die Festigkeitseigenschaften einer gelochten Platte mit denjenigen der ungelochten, so findet man, dass nicht allein ihre Zähigkeit, gemessen durch die stattfindende Bruchdehnung, sondern auch ihre Festigkeit geringer geworden ist. Je fester und weniger zäh das Eisen von Natur ist, desto deutlicher ist diese Einwirkung erkennbar. Tetmajer fand, dass Schweisseisenbleche durchschnittlich 20 Hunderttheile ihrer ursprünglichen Festigkeit einbüssten[2]); Considère ermittelte bei verschiedenen Eisensorten nachstehende durch das Lochen eintretende Aenderungen[3]):

	Festigkeit auf 1 qmm vor dem Lochen kg	Festigkeitsverlust Hunderttheile
Vorzügliches Schweisseisen	37,4	19
Grobkörniges Schweisseisen	41,0	21
Sehr weiches Flusseisen mit 0,18 Hunderttheilen C, 0,27 Hunderttheilen Mn	47,0	20
Weiches Flusseisen mit 0,22 Hunderttheilen C, 0,34 Hunderttheilen Mn	52,5	22
Halbhartes Flusseisen mit 0,33 Hunderttheilen C, 0,38 Hunderttheilen Mn	60,0	25
Hartes Flusseisen (Flussstahl) mit 0,66 Hunderttheilen C, 0,50 Hunderttheilen Mn	81,7	34

Auch die Dicke der Platten und das Verhältniss des Lochdurchmessers zur Dicke ist von Einfluss auf den Festigkeitsverlust. Considère beobachtete bei seinen erwähnten Versuchen, dass der Festigkeitsverlust bei Platten von 1 mm Stärke 12 Hunderttheile, bei Platten von 8 mm Stärke aus ganz demselben Material dagegen 22 Hunderttheile betrug.

Dieser Einfluss des Lochens ist von Wichtigkeit. Dampfkessel, Träger und andere genietete Gegenstände würden, wenn man die Nietung ohne Weiteres mit dem gelochten Eisen vornehmen wollte, erheblich geringere Festigkeit und grössere Sprödigkeit besitzen als das ungelochte Material. Entfernt man jedoch durch Bohren oder Aufreiben mit der Reibahle den rings um das Loch entstandenen Ring, so verschwindet der nachtheilige Einfluss des Lochens wieder. So z. B. fand Hill bei Versuchen mit Flusseisen, welches 0,3 Hunderttheile Kohlenstoff enthielt, nachstehende Durchschnittsziffern[4]):

1) Nach Barba, Étude sur l'emploi de l'acier dans les constructions in der Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1887, Seite 962.

2) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 176.

3) Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1887, Seite 963.

4) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 509 (aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers).

	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Dehnung Hunderttheile
Vor dem Lochen	58,80	18,80
Nach „ „ (Lochweite 19 mm)	42,72	5,10
Nach dem Lochen und Aufreiben auf 20 mm Lochweite	58,31	15,70

Es ist daher Regel, bei Herstellung genieteter Gegenstände, welche auf Festigkeit beansprucht werden, die Nietlöcher, falls sie vermittelst Durchstossens hergestellt sind, zunächst durch Bearbeitung mit einem schneidenden Werkzeuge aufzuweiten, bevor die Nietung vorgenommen wird. Eine Erweiterung des Durchmessers von 2 mm (also die Entfernung eines Ringes von 1 mm Stärke) pflegt auch bei grossen Löchern in starkem Eisen zur Erreichung des Zweckes ausreichend zu sein.

Ueber die Veränderungen, welche gegossene Flusseisenblöcke durch die Bearbeitung in höherer Temperatur erfahren, geben schliesslich folgende Ziffern Aufschluss.[1]) Die Bearbeitung bei diesen Proben (Bessemerblöcken von Fagersta) war durch Schmieden bewirkt worden, wobei ihre Dicke sich von 152 mm auf 51 mm verringert hatte. Aus den rohen wie aus den bearbeiteten Proben wurden die Versuchsstücke durch Drehen herausgearbeitet.

	Kohlenstoffgehalt	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 254 mm ursprüngliche Länge Hunderttheile	Querschnittsverringerung Hunderttheile
Im rohen Zustande .	0,2	15,6	37,2	11,6	11,9
Geschmiedet . . .	„	24,7	42,1	22,5	61,3
Im rohen Zustande .	0,4	19,9	38,8	3,4	4,2
Geschmiedet . . .	„	27,6	52,7	17,9	52,5
Im rohen Zustande .	0,6	27,3	46,8	1,7	2,3
Geschmiedet . . .	„	33,5	68,8	10,2	28,4
Im rohen Zustande .	0,8	33,5	47,2	1,1	1,5
Geschmiedet . . .	„	46,8	69,3	2,2	3,2

Die durch das Schmieden bewirkte Veredelung des Materiales ist hier unverkennbar.

e) Einfluss des Ablöschens (Härtens).

Durch Ablöschen des auf die Härtungstemperatur (Seite 659) erhitzten Eisens in Wasser oder anderen Härtungsflüssigkeiten werden ähnliche Einflüsse wie durch mechanische Bearbeitung hervorgerufen: die Festigkeit steigt, die vor dem Bruche eintretende Formveränderung wird geringer. Während aber eine deutliche Härtesteigerung durch das nämliche Verfahren nur beim Stahle erreichbar ist, zeigt sich der Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften auch beim weichsten Eisen, obschon das Maass des Einflusses im Allgemeinen mit dem Kohlenstoffgehalte des Eisens zunimmt.

1) Versuche von Kirkaldy, mitgetheilt in R. Åkerman, On hardning iron and steel im Journal of the Iron and Steel Institute 1879, II.

Beispiele.[1])

	Zug-festigkeit auf 1 qmm kg	Ver-längerung Hundert-theile	Ver-ringerung des Quer-schnittes Hundert-theile	Elastizitäts-grenze auf 1 qmm kg
Schweisseisen von Surahammar mit 0,2 Hunderttheilen Kohlenstoff, gewalzt	34,0	19,1	n. best.	n. best.
Dasselbe glühend in Wasser abgelöscht	48,5	6,2	33,9	"
Schweisseisen von Lesjöfors, mit 0,07 Hunderttheilen Kohlenstoff, gewalzt	32,9	21,2	70,2	"
Dasselbe glühend in Wasser abgelöscht	44,3	8,0	63,8	"
Flusseisen von Högbo mit 0,33 Hunderttheilen Kohlenstoff, gehämmert	50,2	6,0	62,4	"
Dasselbe glühend in Wasser abgelöscht	56,2	13,0	57,6	"
Flussstahl von Wikmanshyttan mit 0,69 Hunderttheilen Kohlenstoff, gewalzt	72,8	11,3	37,7	"
Derselbe glühend in Oel abgelöscht	96,1	2,0	0,4	"
Flussstahl von Wikmanshyttan mit 1,22 Hunderttheilen Kohlenstoff, gewalzt	101,7	4,5	4,8	"
Derselbe glühend in Oel abgelöscht	137,0	1,1	26,0	"
Flusseisen von Motala mit 0,2 Hunderttheilen Kohlenstoff, zu Blechen gewalzt	42,6	26,9	50,1	21,5
Dasselbe glühend in Wasser abgelöscht	63,5	15,7	33,3	24,3
Flusseisen von Terrenoire mit 0,15 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,21 Hunderttheilen Mangan, gewalzt	36,4	32,3	65,7	18,2
Dasselbe glühend in Oel abgelöscht	46,8	23,7	66,1	31,4
Dasselbe glühend in Wasser abgelöscht	50,4	18,2	71,2	33,1
Flusseisen von Terrenoire mit 0,49 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,20 Hunderttheilen Mangan, gewalzt	48,0	24,8	40,3	23,0
Dasselbe glühend in Oel abgelöscht	71,0	12,5	26,8	46,4
Dasselbe glühend in Wasser abgelöscht	78,2	7,0	35,6	49,3
Flusseisen von Terrenoire mit 1,05 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,25 Hunderttheilen Mangan, gewalzt	86,0	5,2	4,5	39,5
Dasselbe glühend in Oel abgelöscht	130,8	1,0	2,0	92,6
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht, zersprang in Stücke	—	—	—	—
Gegossenes, übrigens unbearbeitetes Flusseisen von Terrenoire mit 0,2 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,2 Hunderttheilen Silicium, 0,6 Hunderttheilen Mangan .	49,0	26,3	n. best.	23,4
Dasselbe geglüht und in Oel abgelöscht	59,1	16,8	"	33,1
Gegossenes unbearbeitetes Martineisen von Terrenoire mit 0,5 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,4 Hunderttheilen Silicium 0,9 Hunderttheilen Mangan . .	76,5	9,3	n. best.	35,2
Dasselbe geglüht und in Oel abgelöscht	83,0	7,2	"	45,0

Sattmann stellte über den Einfluss verschiedener Temperaturen bei diesem Vorgange Versuche an.[2]) Beim Ablöschen weichen Flusseisens zeigte sich ein erheblicher Einfluss erst, wenn die Probe auf Kirsch-

1) Nach R. Åkerman, On hardning iron and steel; vergleiche Seite 680.
2) „Stahl und Eisen" 1892, Seite 557.

rothgluth (etwa 800° C.) erwärmt worden war; Erhitzung auf Hellrothgluth und Gelbgluth erhöhte nicht die Wirkung des Ablöschens, sondern rief eher den entgegengesetzten Erfolg hervor, wie es auch beim Härten des Stahles der Fall ist.

Die Ursache der beim Ablöschen eintretenden Aenderungen der Festigkeitseigenschaften ist zum Theil in der hierbei stattfindenden Aenderung der Kohlenstoffformen zu suchen (Seite 280). Da jedoch auch ganz weiches, nicht deutlich härtbares Eisen seine Festigkeitseigenschaften beim Ablöschen ändert, muss man annehmen, dass auch mechanische Aenderungen in der Anordnung der Theilchen stattfinden.

Erwähnung verdient der Umstand, dass die Biegungsfähigkeit von Stäben aus weichem Flusseisen, besonders des auf basischem Herde entstandenen, durch das Ablöschen nicht vermindert zu werden pflegt. Mitunter lässt sich sogar eine erhöhte Biegungsfähigkeit nach dem Ablöschen beobachten. Eine zutreffende Erklärung dieser auffälligen Thatsache ist bislang nicht gegeben worden. Benutzt man also Biegungsversuche zur Prüfung der Zähigkeit des Eisens, so wird man bei solchem weichen Flusseisen nicht selten zu einer der oben aufgestellten allgemeinen Regel entgegengesetzten Schlussfolgerung gelangen.

Auch das Verhalten von Manganstahl mit etwa 9 bis 18 Hunderttheilen Mangan steht sonderbarerweise im Gegensatze zu der Regel: seine Festigkeit wird durch Ablöschen zwar gesteigert, aber auch seine Zähigkeit wächst; er ist nach dem Ablöschen weniger spröde als bei gewöhnlicher Temperatur. Aus Hadfields über diese Eigenschaft des Manganstahles angestellten Versuchen[1]) mögen folgende als Beispiele dienen. Die geprüften Stäbe hatten 19 mm Durchmesser; die gemessene Längenausdehnung ist auf 200 mm ursprüngliche Länge bezogen.

	Zusammensetzung			Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	kg	Hundert-theile
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt	0,61	0,30	9,37	51,8	5,0
Aus Gelbhitze in Oel abgelöscht	„	„	„	59,6	15,0
„ „ „ Wasser abgelöscht	„	„	„	61,2	15,0
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt	1,10	0,16	12,60	61,2	2,0
Aus Gelbhitze in Oel abgelöscht	„	„	„	78,5	28,0
„ „ „ Wasser abgelöscht	„	„	„	84,8	27,0
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt	0,85	0,28	14,01	56,5	2,0
Aus Gelbhitze in Oel abgelöscht	„	„	„	86,3	27,0
„ „ „ Wasser abgelöscht	„	„	„	105,1	44,0
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt	1,60	0,26	19,1	81,6	1,0
Aus Gelbhitze in Wasser abgelöscht	„	„	„	92,6	4,0

Die Ergebnisse sind um so auffälliger, da die Kohlenstoffformen beim Manganstahl in derselben Weise wie bei gewöhnlichem Stahle durch das Ablöschen beeinflusst werden (Seite 660).

1) Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, p. 70.

f) Einfluss des Ausglühens.

Durch Erhitzen schmiedbaren Eisens bis zum Glühen und darauf folgende langsame — oder wenigstens nicht künstlich beschleunigte — Abkühlung können die Festigkeitseigenschaften erhebliche Aenderungen erfahren.

Glüht man gegossenes schmiedbares Eisen, welches einer Bearbeitung durch Schmieden, Walzen, Ziehen nicht unterworfen worden war (Formgussstücke), entsprechend lange, so wächst seine Festigkeit neben seiner Zähigkeit. Das Glühen bewirkt demnach eine Veredelung seiner Beschaffenheit, und der Erfolg ist dem einer mechanischen Bearbeitung in hoher Temperatur (Seite 676) ganz ähnlich. Die geeignetste Temperatur ist Kirschrothgluth; eine niedrigere Temperatur bleibt ohne merkbaren Einfluss, eine zu hoch gesteigerte Temperatur würde eine Schädigung statt einer Verbesserung der Eigenschaften zur Folge haben. Die erforderliche Zeitdauer des Glühens pflegt mindestens einige Stunden zu sein, bei grossen Gegenständen mehrere Tage.

Einer englischen Quelle sind nachstehende Veränderungen der Festigkeitseigenschaften beim Glühen von Formgussstücken aus Flusseisen entnommen [1]:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung Hunderttheile
Vor dem Glühen	60,0	4,0
Nach „ „	70,5	8,0
Vor dem Glühen	49,0	4,2
Nach „ „	56,9	14,6
Vor dem Glühen	34,0	1,0
Nach „ „	44,0	13,0
Vor dem Glühen	67,1	2,0
Nach „ „	66,5	12,0
Vor dem Glühen	54,0	1,6
Nach „ „	72,3	7,2
Vor dem Glühen	46,5	13,3
Nach „ „	47,0	27,5

Bei Versuchen mit Gussgegenständen aus Terrenoire, welche theils im rohen Zustande sofort geglüht, theils zunächst gehärtet und dann erst wieder zum Glühen erhitzt wurden, erhielt man nach Holley folgende Ergebnisse [2]:

1) Iron, vol. XVI (1880, II), p. 487. Der Name des Verfassers ist nicht genannt.

2) Metallurgical Review, vol. II, p. 220; daraus in Åkermans genannter Abhandlung: On hardning iron and steel.

	Zusammsetzung			Elastizitäts-grenze auf 1 qmm	Zug-festigkeit auf 1 qmm	Längen-ausdehnung
	Kohlenstoff	Silicium	Mganan	kg	kg	Hundert-theile
Im rohen Zustande	0,26	0,26	0,41	18,2	47,3	13,5
Geglüht	"	"	"	21,3	47,9	27,5
Gehärtet und wieder erhitzt	"	"	"	31,2	55,8	20,3
Im rohen Zustande	0,32	0,30	0,48	18,1	56,8	14,8
Geglüht	"	"	"	20,2	54,2	21,5
Gehärtet und wieder erhitzt	"	"	"	35,5	67,7	11,0
Im rohen Zustande	0,42	0,27	0,75	32,1	60,2	2,7
Geglüht	"	"	"	35,8	73,9	13,0
Gehärtet und wieder erhitzt	"	"	"	37,8	76,0	11,7
Im rohen Zustande	0,45	0,35	1,10	30,8	59,8	2,8
Geglüht	"	"	"	34,0	74,0	17,5
Gehärtet und wieder erhitzt	"	"	"	45,0	85,0	8,0
Im rohen Zustande	0,55	0,40	1,05	25,3	58,0	4,0
Geglüht	"	"	"	25,3	73,0	9,8
Gehärtet und wieder erhitzt	"	"	"	28,8	77,2	6,5
Im rohen Zustande	0,63	0,55	0,95	27,8	54,1	1,6
Geglüht	"	"	"	33,0	75,7	7,2
Gehärtet und wieder erhitzt	"	"	"	46,0	113,7	0,8

Man macht von diesen wohlthätigen Einflüssen des Ausglühens regelmässig Anwendung bei der Herstellung von Formgussstücken, welche erst durch dieses Verfahren ihre volle Brauchbarkeit erlangen. Der Erfolg beruht theils auf der Verminderung des übermässigen Gehaltes an Härtungskohle, welche hierbei in Karbidkohle übergeht (Analyse auf Seite 180), theils auch auf einer Beseitigung der Spannungen, welche beim Giessen infolge der ungleichmässigen Abkühlung der einzelnen Theile zu entstehen pflegen, endlich auf der schon früher (Seite 641) besprochenen Aenderung des Gefüges. Die Versuche mit Formgussstücken von Terrenoire zeigen, dass man im Stande ist, durch Härten und abermaliges Erhitzen die Festigkeitseigenschaften in weitem Maasse zu regeln.

Durch Glühen bearbeiteten (geschmiedeten, gewalzten, gezogenen) schmiedbaren Eisens, dessen Elastizitätsgrenze, Elastizitätsmodul und Festigkeit durch die Bearbeitung gesteigert und dessen Zähigkeit hierdurch verringert worden war, lassen sich jene Eigenschaften auf ihr ursprüngliches Maass oder unter Umständen noch weiter zurückführen. Das Eisen wird durch das Glühen zäh, geschmeidig, aber es verliert seine Elastizität und besitzt nach dem Glühen eine verhältnissmässig geringe Festigkeit. Die geeignetste Temperatur hierfür ist Rothgluth. Geringere Erwärmungen als 450° C. beim Flusseisen, 400° beim Schweisseisen bringen nach Versuchen von Bauschinger überhaupt keine Wirkung hervor[1]; allzu starke Erhitzung

[1]) Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium in München, Heft 13, Seite 26.

legt die Gefahr des Verbrennens (siehe unten) nahe. Eine lange Zeitdauer des Glühens (wie beim Ausglühen von Gussgegenständen) ist nicht erforderlich.

Wie die durch mechanische Bearbeitung bewirkten Aenderungen sind auch diejenigen, welche das Glühen nach jener Bearbeitung hervorruft, allein auf mechanische Ursachen zurückzuführen. Eine Aenderung der Kohlenstoffformen findet nicht oder nur in untergeordnetem Maasse statt.

Zahlreiche Versuche sind über die hier in Rede stehenden Einflüsse des Glühens angestellt worden.

Wedding fand bei den schon auf Seite 676 erwähnten Versuchen mit weichem Flusseisen:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längendehnung Hunderttheile	Querschnittsverringerung Hunderttheile
Im Anlieferungszustande	44,5	21,9	57,8
Nach der Anlieferung geglüht	44,3	22,3	55,5
Kalt geschmiedet	74,2	2,3	32,1
Nach dem Kaltschmieden geglüht	45,3	18,4	54,7

Sattmann erhielt bei seinen Versuchen (Seite 677) unter anderen folgende Werthe:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längendehnung Hunderttheile	Querschnittsverringerung Hunderttheile
Vor dem Schmieden	41,1	24,5	59,0
Nach „ „	49,3	7,0	55,7
„ „ „ und Ausglühen	39,0	24,0	61,7

Beim Prüfen von kaltgewalzten Stäben (Seite 678) fand Thurston[1]):

	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längendehnung Hunderttheile
Ursprünglich	21,9	36,9	24,6
Nach dem Walzen	41,4	48,5	10,4
„ „ „ und Glühen	23,2	37,6	25,0

Bei Versuchen mit Drähten fand Wertheim[2]):

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg
für Eisendraht		
nach dem Ziehen nicht geglüht	61,0	32,5
geglüht	48,8	5,0
für Flussstahldraht		
nach dem Ziehen nicht geglüht	80,0	55,6
geglüht	65,7	5,0

Die Anwendungen dieser Einflüsse sind zahlreich. Findet eine Formgebung im kalten Zustande statt (z. B. beim Ziehen von Drähten), so rücken die Elastizitätsgrenze und die Festigkeit allmählich einander so nahe, dass eine Ueberschreitung der ersteren kaum noch möglich ist, ohne den Bruch herbeizuführen; auch ist der Elastizitätsmodul beträchtlich gesteigert. Das Metall hat seine Geschmeidigkeit vollständig verloren; eine fernere Formveränderung ist demnach ohne Weiteres unmöglich. Man glüht es aus und ertheilt ihm seine frühere Geschmeidigkeit wieder. Ebenso glüht man fertige Waaren aus, wenn ihre spätere

1) Engineering and Mining Journal, vol. XLVII, p. 262.
2) Annales de chimie et de physique, série 3, tome XII.

Verwendung ein höheres Maass von Geschmeidigkeit bedingt, als sie aus dem Herstellungsverfahren mitgebracht hatten. Bleche werden geglüht, wenn sie im kalten Zustande starken Biegungen unterworfen werden sollen, Drähte, wenn man sie als Bindedraht oder zu ähnlichen Zwecken benutzen will, u. s. f.

Auch die beim Lochen (Seite 679) eintretende Abnahme der Festigkeit und Zunahme der Sprödigkeit lässt sich durch Glühen der gelochten Theile wieder beseitigen. Tetmajer fand z. B. bei Versuchen mit Schweisseisenblechen[1]) und Flusseisenträgern[2]) folgende Mittelwerthe:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm Schweisseisen kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm Flusseisen kg
Vor dem Lochen	42,0	44,8
Nach „ „ ungeglüht	35,7	35,3
„ „ „ geglüht	42,7	48,6

Glüht man Eisen oder Stahl, dessen Festigkeitseigenschaften durch Ablöschen (Seite 680) Aenderung erlitten hatten, so werden auch in diesem Falle jene Eigenschaften auf ihr früheres Maass zurückgeführt. Hatte beim Ablöschen eine Veränderung der Kohlenstoffformen stattgefunden, so wird auch diese beim Glühen wieder ausgeglichen (S. 280).

Jene Temperaturen unter Rothgluth, welche beim Anlassen des gehärteten Stahles eine Abminderung seiner Härte herbeiführen (S. 661), erniedrigen in diesen Fällen auch die beim Härten entstandene Festigkeit und Sprödigkeit um ein der Temperatur und Zeitdauer der Einwirkung entsprechendes Maass; vollständige Wiederherstellung der Eigenschaften des naturharten Stahles findet jedoch, soweit die bis jetzt angestellten Versuche ein Urtheil darüber zulassen, erst beim wirklichen Glühen statt. Als ein Beispiel, dass selbst eine lange fortgesetzte Erwärmung gehärteten Stahles auf Anlasstemperatur nicht ausreicht, die ursprünglichen Eigenschaften vollständig wiederherzustellen, möge Folgendes dienen[3]):

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Querschnittsverringerung Hunderttheile
Tiegelstahl, naturhart (mit 0,62 Hunderttbln. Kohlenstoff)	60,1	54,0
Derselbe, gehärtet	108,0	2,5
Derselbe, gehärtet und eine halbe Stunde auf 240° erwärmt	85,9	7,0

g) Beizbrüchigkeit.

Auf Seite 311 wurde bereits der eigenthümliche Umstand erwähnt, dass schmiedbares Eisen beim Behandeln mit verdünnten Säuren, deren Einwirkung auf das Eisen mit einer Wasserstoffentwickelung verknüpft ist, Wasserstoff im Entstehungszustande aufzunehmen vermag und dadurch spröde wird, den aufgenommenen Wasserstoff aber bei mässiger Erwärmung oder auch bei langem Lagern an trockenem Orte in gewöhnlicher Temperatur wieder entlässt, wobei es seine ursprünglichen Eigenschaften wieder annimmt.

1) „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 175.

2) Werthbestimmung deutscher Normalprofile, Zürich 1885, Seite 64.

3) Nach Styffe, Jernkontorets Annaler 1866; daraus in Åkermans genannter Abhandlung.

Da jene Behandlung des Eisens mit Säuren vornehmlich zum Zwecke des Beizens, d. h. einer Reinigung der Oberfläche von Glühspan auf chemischem Wege, stattzufinden pflegt, hat man die hierdurch erzeugte Brüchigkeit als Beizbrüchigkeit bezeichnet. Vornehmlich ist es die Biegsamkeit des Eisens, welche Einbusse erleidet, und je schwächer der Querschnitt des Eisenstückes ist, desto stärker ist im Allgemeinen die Einwirkung. Daher ist das Auftreten der Beizbrüchigkeit vorzugsweise deutlich bei Drähten erkennbar. Drähte, welche vor dem Beizen beispielsweise 10 Biegungen auszuhalten vermögen, ehe sie brechen, ertragen, wenn sie drei bis vier Stunden mit verdünnter Schwefelsäure behandelt wurden, oft nicht mehr als 2 bis 3 Biegungen; bisweilen ist der Unterschied noch erheblicher.[1])

Sehr empfindlich ist Stahl, zumal im gehärteten und angelassenen Zustande, gegen den geschilderten Einfluss des Beizens. Gehärtete und blau angelassene Federn aus Stahl mit 0,65 Hunderttheilen Kohlenstoff, auf Biegung beansprucht, brachen im ungebeizten Zustande bei einer Bruchspannung von durchschnittlich 169,5 kg, im gebeizten Zustande von durchschnittlich 102,5 kg auf 1 qmm.[2]) Während des Beizens waren sie mit Zink in Berührung gewesen, um ein Auflösen von Eisen durch Säure, auf welches die Festigkeitsverminderung zurückgeführt werden könnte, zu verhüten.[3]) Auch die Widerstandsfähigkeit solchen Stahles gegen Schlagwirkungen wird durch das Beizen erheblich verringert. Ungehärtete Stahlstäbe mit einem Kohlenstoffgehalte von 0,51 Hunderttheilen, 50 mm im Quadrat stark, wurden bei 0,6 m freier Auflage in der Mitte durch Schläge eines Fallbäres von etwa 55 kg Gewicht geprüft. Im ungebeizten Zustande ertrugen drei solcher Stäbe eine Schlagarbeit von durchschnittlich 1643 mkg, im gebeizten Zustande nur von 895 mkg.[4])

Dagegen wird die Zugfestigkeit des Eisens durch das Beizen nicht merklich beeinflusst; auch die elastischen Eigenschaften gegenüber der Beanspruchung durch Zugkräfte erleiden keine Aenderungen. Eisendrähte zeigten vor dem Beizen eine Festigkeit von durchschnittlich 55,0 kg bei 4 Hunderttheilen Längenausdehnung, nachher 55,8 kg Festigkeit bei 5,5 Hunderttheilen Dehnung; Stahldrähte vor dem Beizen 121,1 kg Festigkeit bei 8,7 Hunderttheilen Dehnung, nachher 121,7 kg Festigkeit bei 9,0 Hunderttheilen Dehnung.[5])

Der besprochene Einfluss des Beizens ist nicht ohne Bedeutung für den Betrieb. Beizt man z. B. geglühte Drähte, um sie von ihrem Glühspan zu befreien, so sind sie unmittelbar nach dem Beizen so spröde, dass ein ferneres Ziehen zunächst nicht möglich ist, aber sie verlieren ihre Sprödigkeit bei längerem Liegen. Federn aus Stahl brechen bei der Benutzung, wenn man sie gebeizt hatte, aber erweisen sich als gut haltbar, wenn das Beizen unterblieb. Drahtseile, welche

1) Zahlreiche Beispiele sind in den unter Literatur genannten Abhandlungen über diesen Gegenstand gegeben.

2) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 690.

3) Das Zink wird hierbei elektropositiv, das Eisen elektronegativ. An der Oberfläche des Eisens findet Wasserstoffentwickelung statt, das Zink wird oxydirt.

4) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 754.

5) Ebenda, Seite 747.

in Gruben mit sauren Wassern in Berührung treten, können hierdurch vollständig spröde werden, und ein Seilbruch kann die Folge davon sein; aber sie werden wieder brauchbar, wenn man sie einige Zeit der Einwirkung entzieht.

h) Einfluss der Form und Grösse des beanspruchten Querschnittes.

Die Form des beanspruchten Querschnittes bleibt beim schmiedbaren Eisen ohne deutlichen Einfluss auf seine Festigkeitseigenschaften. Aus Versuchen, welche auf Veranlassung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute mit quadratischen, rechteckigen und runden Stäben desselben Materiales angestellt wurden, ergab sich, dass die Zugfestigkeit gleich war.[1]) Barba und Goedicke fanden, dass rechteckige Stäbe grössere Dehnung zeigten als Rundstäbe, und ersterer ermittelte, dass die Dehnungsziffer am günstigsten ausfalle, wenn das Verhältniss der Dicke zur Breite des Stabes = $^1/_6$ sei.[2])

Dagegen ändern sich die Festigkeitseigenschaften nicht unerheblich mit der Grösse des beanspruchten Querschnitts. Die Festigkeit, bezogen auf die Flächeneinheit des Querschnitts, wächst, wenn der Querschnitt abnimmt. Die Thatsache ist zum Theil durch die oben besprochene Verbesserung der Beschaffenheit bedingt, welche durch die Bearbeitung, d. h. Querschnittsverringerung, erreichbar ist. Dagegen verringert sich mit Abnahme des Querschnitts die vor dem Bruche eintretende Längenausdehnung, sofern sie auf die nämliche Abmessung bezogen wird, als bei stärkerem Querschnitte. Der Umstand weist nicht etwa auf eine Verringerung der Zähigkeit hin, sondern findet unschwer seine Erklärung in dem Umstande, dass bei gleicher Länge zweier Versuchsstücke das Verhältniss dieser Länge zum Querschnitte um so grösser sich beziffert, je kleiner der letztere ist. Wenn zwei Stäbe von derselben Länge, aber verschieden starkem Querschnitte, eine Querschnittsverringerung um je 25 Hunderttheile des ursprünglichen Querschnitts erfahren, muss die hierdurch bewirkte Ausdehnung der gleichen Längenabmessung bei dem dickeren Stabe beträchtlicher ausfallen als bei dem dünneren. Bei Proben mit dem nämlichen Flusseisen, welches zu Trägern, Flach- und Rundeisen von verschiedener Dicke gewalzt worden war, ergaben sich die in der Tabelle auf Seite 689 mitgetheilten Ziffern der Zugfestigkeit und Längendehnung.[3])

Besonders deutlich zeigt sich die geringere Festigkeit des Eisens in grösseren Querschnitten beim Schweisseisen, wo die stärkere Durcharbeitung der auf dünnere Querschnitte ausgestreckten Gegenstände und die bei der stärkeren Durcharbeitung vollständigere Reinigung von eingemengter Schlacke wesentlich zur Verbesserung der Beschaffenheit beiträgt.

Die sattfindende Längenausdehnung, ausgedrückt in Hunderttheilen der ursprünglichen Länge, bleibt bei grösseren und kleineren Querschnitten aus dem nämlichen Materiale alsdann annähernd gleich, wenn

1) „Stahl und Eisen“ 1881, Seite 7; 1892, Seite 938.
2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1887, Seite 264.
3) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 942.

	Dicke des Probestabes mm	Zug-festigkeit auf 1 qmm kg	Längen-ausdehnung auf 200 mm Länge Hunderttheile
Träger	16,7	38,9	30,5
desgleichen, schwächer	10,8	40,6	27,0
desgleichen, noch schwächer	7,2	44,7	23,5
Rundeisen, 28 mm stark	28,0	40,4	31,5
desgleichen 20 „ „	20,0	40,0	29,0
desgleichen 12 „ „	12,0	42,9	25,0
desgleichen 8 „ „	8,0	46,9	16,5

jene ursprünglich gemessene Länge, auf welche die Ausdehnung bezogen wird, in jedem besonderen Falle das gleiche Verhältniss zum Durchmesser des Probestückes besitzt, also um so kleiner genommen wird, je schwächer der Durchmesser ist.[1])

Die Beachtung dieser Einflüsse der Querschnittsgrössen ist für die Beurtheilung und Verwendung des Eisens von Wichtigkeit.

i) Einfluss widerholter Erschütterungen.

Vielfach will man, zumal in früherer Zeit, die Beobachtung gemacht haben, dass Eisen, welches anhaltenden Erschütterungen ausgesetzt ist, z. B. Achsen von Eisenbahnwagen, Krahnketten u. s. w., infolge einer Aenderung seines Gefüges an Festigkeit und Zähigkeit einbüsse; insbesondere auch, dass sehniges, zähes Eisen auf diese Weise allmählich in körniges, sprödes Eisen umgewandelt werde, und dass in diesem Vorgange mitunter die Ursache vorgekommener Brüche von Gegenständen zu suchen sei, welche Jahrzehnte hindurch, ohne zu brechen, ihrem Zwecke genügt hatten. Die anhaltende Erschütterung würde also in diesem Falle eine ganz ähnliche Einwirkung ausüben, wie das unten besprochene Verbrennen des Schweisseisens, d. h. Erhitzen bis nahe zum Schmelzpunkte und allmähliches Abkühlen.

Die vermeintliche Beobachtung erhielt eine scheinbare Bestätigung durch das im Jahre 1870 von Wöhler auf Grund eingehender Versuche aufgestellte Gesetz, nach welchem der Bruch eines Körpers durch vielfach wiederholte Beanspruchungen herbeigeführt werden kann, deren jede einzelne nicht die Bruchgrenze erreicht.[2]) Spätere Versuche haben erwiesen, dass auch durch eine unbegrenzte Zahl von Anstrengungen ein Bruch alsdann nicht herbeigeführt wird, wenn eine gewisse Grenze der Beanspruchung nicht überschritten wird.[3])

Als vollständig irrig hat sich indess jene Ansicht erwiesen, dass ein durch wiederholte Anstrengungen herbeigeführter Bruch die Folge einer stattgehabten Gefügeänderung sei, insbesondere, dass sehniges

1) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 938.

2) Zeitschr. f. Bauwesen, Band XX, Seite 83.

3) Ebenda, Band XXV (Spangenberg); ferner Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium in München, Heft 13 (Bauschinger).

Schweisseisen sich durch anhaltende Erschütterungen in körniges umwandele. Auf Seite 642 wurde bereits der Umstand hervorgehoben, dass das Bruchaussehen des sehnigen Eisens von der Art und Weise des Abbrechens abhängig sei, und dass sehniges Eisen eine vollständig grobkörnige Bruchfläche aufzuweisen pflege, wenn der Bruch plötzlich durch einen heftigen Stoss erfolge. Ein solcher Stoss aber pflegt die Ursache jener Brüche zu sein, bei welchen man die Umwandlung des sehnigen Gefüges in körniges beobachtet haben wollte.

Bauschinger untersuchte im Jahre 1878 Kettenglieder einer im Jahre 1829 erbauten und bei der Benutzung steten Erschütterungen unterworfenen Kettenbrücke zu Bamberg und verglich sie mit noch vorhandenen, in Vorrath aus demselben Eisen gefertigten, unbenutzt gebliebenen Gliedern. Es ergab sich:

	Elastizitätsmodul auf 1 qmm kg	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Beginn des Streckens bei kg auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Querschnittsverringerung Hundert-theile	Verlängerung auf 200 cm Hundert-theile
Kettenglied aus dem Vorrath . . .	22980	26,10	28,60	31,20	3	0,8
Neues in der nämlichen Fabrik gefertigtes Kettenglied	22980	20,00	26,70	36,80	30	5,1
Benutzte Kettencylinder, Durchschnittsziffern aus drei Versuchen . . .	22400	20,20	25,30	33,36	30	6,4

Die Bruchfläche der zerrissenen Glieder liess keinen durch die Benutzung herbeigeführten Unterschied erkennen; die benutzten Glieder zeigten zum grossen Theil sehniges Gefüge.

Bei schmiedeeisernen Hängebolzen einer hölzernen Eisenbahnbrücke der Allgäubahn, welche vor der Benutzung auf ihre Festigkeitseigenschaften geprüft worden waren und dann durch Bauschinger nach 25jähriger Benutzung wiederum geprüft wurden, zeigte sich ebenfalls keine Verschlechterung der Festigkeitseigenschaften. Es betrug als Durchschnitt aus mehreren Versuchen:

	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm
vor der Benutzung . . .	23,10 kg	31,20 kg
nach „ „ . . .	20,13 „	31,00 „

Auch ein im Jahre 1888 durch Belelubsky vorgenommener Vergleich der Festigkeitseigenschaften von Kettengliedern der seit 40 Jahren benutzten Kettenbrücke zu Kiew mit den Festigkeitseigenschaften der aus demselben Materiale in Vorrath gefertigten Kettenglieder liess keine Veränderung dieser Eigenschaften erkennen. Alle Probestücke zeigten faseriges Gefüge.[1])

Zahlreiche, im mechanisch-technischen Laboratorium der technischen Hochschule zu München durch Bauschinger angestellte Versuche, bei welchen Eisen- und Stahlstäbe wiederholten Erschütterungen ausgesetzt wurden, führten ihn zu der Schlussfolgerung:

1) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 917.

„Oftmal, millionenmal wiederholte Anstrengungen des Eisens und Stahles bringen keine Aenderung der Struktur hervor.“ [1])

k) Einfluss der Temperatur.

Mit der Temperatur ändern sich die Festigkeitseigenschaften des Eisens. Bei der Wichtigkeit, welche dieser Umstand für die Verwendung des Eisens besitzt, sind zahlreiche Untersuchungen hierüber bereits angestellt worden, ohne dass jedoch jede dabei in Betracht kommende Frage schon ihre vollständig befriedigende Beantwortung gefunden hätte.

Im Allgemeinen nimmt die Festigkeit ab, wenn die Temperatur steigt, und mit der Festigkeit verringert sich der Elastizitätsmodul; jedoch ist in den Temperaturen zwischen 100 bis etwas über 300 Grad die Festigkeit häufig noch etwas höher als in gewöhnlicher Temperatur (15—20 °). Die Dehnung ist in sehr niedriger Temperatur (unter Null Grad) sowohl als in Temperaturen zwischen 100 bis 300 Grad (Blauhitze) meistens niedriger als in gewöhnlicher Temperatur, und ebenso verhält sich die Querschnittsverringerung an der Zerreissstelle; das Eisen ist in jenen Temperaturen spröder.[2]) Bei Erhitzung über 400 ° C. hinaus pflegt die Dehnung anfänglich zuzunehmen, sinkt dann aber rasch, wenn die Temperatur über 600 ° C. steigt. Im Uebrigen lehrt uns das auf Seite 643 besprochene Verhalten rothbrüchigen Eisens, dass die Beeinflussung, welche die Zähigkeit und Dehnbarkeit in höherer Temperatur erleiden, nicht immer gleich, sondern zum Theil von der Zusammensetzung des Eisens abhängig ist.

Aus zahlreichen durch Kollmann angestellten Versuchen [3]) mögen nachstehende Ergebnisse hier Platz finden.

Sehniges Schweisseisen aus Gutehoffnungshütte mit 0,10 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,31 Hunderttheilen Phosphor (also ziemlich kaltbrüchiges Eisen):

Temperatur Grade Celsius	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Verringerung des Querschnitts Hunderttheile	Ausdehnung auf 100 qmm Länge Hunderttheile
20	37,5	20,0	16,1—19,0
133	37,0	23,1	24,1
245	35,0	32,1	31,2
310	33,5	34,0	33,0
340	32,1	38,2	35,0
410	27,0	44,1	45,1
510	11,1	54,7	37,0
610	7,0	45,2	23,0
730	5,0	41,9	45,0
810	4,0	39,3	20,0
1080	1,2	90,5	5,0

Feinkörniges Schweisseisen mit 0,12 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,20 Hunderttheilen Phosphor, 0,11 Hunderttheilen Silicium, 0,14 Hunderttheilen Mangan:

1) Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium, Heft 13, Seite 43.

2) Vergleiche Blaubrüchigkeit auf Seite 649.

3) Verhandlungen d. Ver. zur Beförderung des Gewerbfleisses 1880, Seite 92.

Temperatur Grade Celsius	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Verringerung des Querschnitts Hunderttheile	Ausdehnung auf 100 qmm Länge Hunderttheile
20	40,0	23,8	20,0
125	40,1	24,3	23,5
190	39,8	18,7	20,0
240	39,5	25,2	26,0
310	38,5	26,3	30,0
360	36,5	18,7	20,0
440	28,2	49,5	58,5
500	17,6	55,2	52,0
1040	2,3	92,4	7,0

Bessemereisen mit 0,23 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,30 Hunderttheilen Silicium, 0,09 Hunderttheilen Phosphor, 0,86 Hunderttheilen Mangan, 0,05 Hunderttheilen Schwefel:

Temperatur Grade Celsius	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Verringerung des Querschnitts Hunderttheile	Ausdehnung auf 100 qmm Länge Hunderttheile
20	59,6	22,1	14,5
120	59,0	27,3	19,2
230	57,8	31,2	24,2
290	55,7	25,1	19,8
360	47,2	60,0	55,3
410	31,9	72,7	80,0
500	20,0	74,8	100,0
1080	3,3	97,4	11,0

Hier ist demnach jene erwähnte Zunahme der Festigkeit und Abnahme der Zähigkeit in den Temperaturen zwischen 100 bis 300 Grad nicht bemerkbar. Dagegen lieferten Versuche, bei der Königlichen technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg mit Flusseisen ausgeführt, unter anderen folgende Ergebnisse[1]):

	Temperatur in Graden Celsius Grade	Proportionalitätsgrenze (Elastizitätsgrenze) auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 200 mm ursprüngliche Länge Hunderttheile	Querschnittsverminderung Hunderttheile
Flusseisen I	— 20	12,3	41,2	31,9	55,8
„ „	+ 20	16,5	38,4	30,4	58,6
„ „	+ 100	14,6	39,1	14,1	50,9
„ „	+ 200	18,1	50,3	15,8	41,5
„ „	+ 300	10,3	47,4	20,0	22,9
„ „	+ 400	6,5	34,1	35,0	57,5
„ „	+ 500	—	19,3	50,3	79,6
„ „	+ 600	—	10,7	76,7	90,5
Flusseisen II	— 20	15,8	46,7	26,8	48,7
„ „	+ 20	17,1	43,7	28,9	48,7
„ „	+ 100	16,7	43,9	15,6	43,7
„ „	+ 200	18,9	54,8	14,8	33,2
„ „	+ 300	12,7	52,9	22,6	27,6
„ „	+ 400	11,1	43,2	29,5	50,6
„ „	+ 500	—	22,6	44,9	79,5
„ „	+ 600	—	10,9	67,3	96,0

(Fortsetzung der Tabelle Seite 693.)

1) Mittheilungen der Königlichen technischen Versuchsanstalten 1890, Heft IV; im Auszuge in „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 843.

	Temperatur in Graden Celsius	Proportionalitätsgrenze (Elastizitätsgrenze) auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 200 mm ursprüngliche Länge	Querschnittsverminderung
	Grade	kg	kg	Hunderttheile	Hunderttheile
Flusseisen III	— 20	17,7	50,1	26,9	57,5
" "	+ 20	25,8	47,0	28,6	61,5
" "	+ 100	21,9	46,7	18,6	55,4
" "	+ 200	17,6	57,0	12,9	36,3
" "	+ 300	16,8	44,7	5,1	8,5
" "	+ 400	—	43,2	30,9	44,5
" "	+ 500	—	26,6	44,8	74,1
" "	+ 600	—	13,4	56,9	89,3

Alle diese Eisensorten zeigen in den Temperaturen zwischen 100 bis einschliesslich 300 ° C. eine deutliche Abnahme der Zähigkeit, während die meisten Festigkeitsziffern bei 200 und 300 ° höher sind als bei gewöhnlicher Temperatur. Gleiche Ergebnisse erhielten auch Huston und Walrand sowohl bei Prüfung von Schweisseisen als von Flusseisen.[1])

Ueber den Einfluss sehr niedriger Temperaturgrade auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens wurden von Steiner Versuche angestellt[2]), welchen folgende Ziffern entnommen sind:

	Celsius Temperatur in Graden	Streckgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 200 mm ursprüngliche Länge	Querschnittsverminderung
	Grade	kg	kg	Hunderttheile	Hunderttheile
Schweisseisen	— 50	32,8	42,4	15,0	51,0
	+ 18,5	27,1	41,3	18,5	48,9
Martinflusseissen	— 40	31,8	43,7	17,0	60,0
	— 23	26,4	40,7	26,0	61,2
	+ 25	25,8	40,7	30,5	63,2
Thomasflusseisen	— 50	32,8	40,9	17,0	67,7
	+ 25	25,8	38,0	28,8	69,3

Die Ziffern lassen ebenso wie die oben mitgetheilten erkennen, dass die Festigkeit des Eisens gegenüber ruhiger Belastung in Winterkälte beträchtlicher als im Sommer ist. Wenn daher Eisentheile, welche starken Erschütterungen ausgesetzt sind (Radreifen von Eisenbahnfahrzeugen, Eisenbahnschienen und andere), im Winter weit häufiger als im Sommer Brüche erleiden, so ist der Grund dafür zum Theile in der Verringerung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen, bedingt durch ihre grössere Steifigkeit, zu suchen, zum anderen Theile freilich auch in der grösseren Härte, also geringeren Nach-

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1886, Seite 138.
2) Zeitschr. d. Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1891, Nr. 8 und 10; auszugsweise in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Band XXXVI, Seite 427.

giebigkeit, des gefrorenen Erdbodens, welcher jenen erschütterten Theilen als Unterlage dient.[1]) Die Vergrösserung der Steifigkeit in niedriger Temperatur wird durch die schon mitgetheilten Ziffern (Verringerung der Längenausdehnung), deutlicher noch durch einige Versuche von Köpcke und Hartig erwiesen, bei welchen Eisenstäbe Schlagwirkungen theils in gewöhnlicher Temperatur (15 bis 20 ° C.), theils nach vorausgegangener Abkühlung auf — 40 bis — 80 ° unterworfen wurden.[2]) Die durch mehrere nach einander ausgeführte Schläge hervorgerufenen mittleren Durchbiegungen für je einen Schlag betrugen z. B.

bei Schweisseisen, gewöhnliche Temperatur	13,7 mm
„ „ , gekühlt	10,2 „
„ Flusseisen, gewöhnliche Temperatur	15,0 „
„ „ , gekühlt	10,0 „

und bei einer anderen Versuchsreihe:

bei Schweisseisen, gewöhnliche Temperatur	10,6 mm
„ „ , gekühlt	7,2 „
„ Flusseisen gewöhnliche Temperatur	11,5 „
„ „ , gekühlt	7,7 „

Wenn demnach der gleiche Aufwand mechanischer Arbeit in der Kälte eine geringere Formveränderung des Eisens als in gewöhnlicher Temperatur hervorruft, also der Elastizitätsmodul in grosser Kälte beträchtlicher als in gewöhnlicher Temperatur ist, so fand andererseits Mehrtens, dass weiches Flusseisen selbst bei Temperaturen von — 70 ° C. weitgehende Biegungen zu ertragen vermag, ohne Bruch zu erleiden.[3])

8. Das Verbrennen des schmiedbaren Eisens.

Wenn schmiedbares Eisen zu lange auf eine dem Schmelzpunkte nahe liegende Temperatur erhitzt wird, ohne bearbeitet zu werden, oder wenn bei der Erhitzung von Stahl Berührung mit oxydirend wirkenden Körpern (atmosphärischer Luft, Feuerungsgasen) stattfand, so erleiden das Eisen und der Stahl eine Verschlechterung ihrer Eigenschaften, welche man in allen Fällen als Verbrennen des schmiedbaren Eisens zu bezeichnen pflegt, obgleich ein wirkliches Verbrennen einzelner Bestandtheile des Eisens nur in einigen jener Fälle stattfand. Man gebraucht in Wirklichkeit den gleichen Ausdruck für ganz verschiedene Vorgänge; auch äussert sich die erwähnte Verschlechterung keineswegs immer in der gleichen Weise.

Erhitzt man gewöhnliches kohlenstoffarmes Schweisseisen bis zum beginnenden Schmelzen und lässt es allmählich abkühlen, so nimmt es ein grobkrystallinisches Gefüge mit Absonderungsflächen von oft mehr als 10 mm Durchmesser und eigenthümlichem starkem Glanze an,

1) Der Unterschied in der Zahl der bei solchen Theilen vorkommenden Brüche im Winter und Sommer ist in der That sehr beträchtlich. Nach einer Zusammenstellung der bei den deutschen Eisenbahnverwaltungen im Betriebsjahre 1887/88 vorgekommenen Radreifenbrüche entfielen auf die Monate Januar, Februar und März 15,9 mal so viel Brüche als auf die Monate Juli, August und September (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1892, Seite 430).

2) Civilingenieur 1892, Heft 3.

3) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 196 und 220.

wird vollständig brüchig und ist auch in Rothgluth nicht mehr oder nur noch schwierig bearbeitbar. Solches stark verbranntes Schweisseisen findet sich z. B. in den Sauen (den auf dem Herdboden entstandenen und festgewachsenen Eisenklumpen) von Schweissöfen; ferner auf Brandstätten, wenn Eisentheile bis zum Schmelzen erhitzt worden waren, und bei ähnlichen Vorkommnissen. Eine von mir angestellte Untersuchung einer solchen Schweissofensau ergab

Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Sauerstoff	Mangan	Kupfer
0,052	0,000	0,223	Spur	0,177	0,000	0,450

Der gefundene Sauerstoff ist jedenfalls aus der eingemengt gewesenen Schlacke in dem halbflüssigen Zustande des Eisens an dieses übergegangen und macht es rothbrüchig; die grobkrystallinische Beschaffenheit des Eisens, durch die lange fortgesetzte Erhitzung und langsame Abkühlung entstanden, bedingt ein hohes Maass von Brüchigkeit in gewöhnlicher Temperatur. Mit dem Hammer kann man derartiges Eisen leicht in Stücke zerschlagen.

Ein ähnlicher Vorgang, jedoch nicht in jener stark ausgebildeten Form, zeigt sich, wenn kohlenstoffarmes Eisen bei seiner Verarbeitung durch Unvorsichtigkeit zu lange auf Weissgluth erwärmt wurde; bei dem Herausnehmen aus dem Feuer sprüht es Funken, schwieriger als bei sachgemässer Erhitzung lässt es sich schmieden oder walzen, und nach dem Erkalten pflegt es ein grobkörniges Gefüge zu besitzen, welches Brüchigkeit erzeugt. Durch vorsichtiges Ausschmieden ist man häufig, doch nicht immer, im Stande, dem in solcher Weise geschädigten Eisen seine frühere gute Beschaffenheit wieder zu geben. Flusseisen ist gegen diese Einwirkung einer zu starken Erhitzung empfindlicher und lässt sich schwieriger wieder herstellen, als Schweisseisen. Es muss vorsichtiger als dieses behandelt werden. Jenes erwähnte Funkensprühen deutet auf ein Entweichen von Gasen; vermuthlich wird Kohlenstoff unter Einwirkung des an der Oberfläche gebildeten Hammerschlags oder der im Schweisseisen enthaltenen eisenoxydulreichen Schlacke verbrannt. Im Flusseisen verbrennen Mangan und Silicium, und ihre Verbrennungserzeugnisse vereinigen sich zu sogenannten Hartkörnern, Silikaten, welche im Eisen in Körnerform eingeschlossen bleiben und bei der Bearbeitung mit der Feile durch ihre Härte ihre Anwesenheit verrathen.

Deutlicher und häufiger als beim weichen, kohlenstoffarmen Eisen zeigen sich die nachtheiligen Folgen einer zu starken oder zu anhaltenden Erhitzung beim Stahle, und je kohlenstoffreicher er ist, desto empfindlicher ist er gegen jede derartige falsche Behandlung. Auch ein Chrom- oder Wolframgehalt macht ihn jenen Einwirkungen zugänglicher.

Wird der Stahl nur zu stark oder zu anhaltend erhitzt, ohne dass chemische Einwirkungen stattfinden konnten, so nimmt er, wie das weichere Eisen, ein grobkörniges Gefüge an, ist infolge davon in Rothgluth weniger leicht bearbeitbar und in der Kälte spröder geworden. Er ist überhitzt. Schmiedet man ihn aber in Rothgluth aus, so erhält er seine frühere gute Beschaffenheit wieder.

Trat der Stahl dagegen bei seiner Erhitzung mit der atmosphärischen Luft, oder mit kohlensäurehaltigen Verbrennungsgasen in Berührung (z. B. bei Benutzung von Koks oder Steinkohlen für die

Erhitzung, welche stets reichliche Mengen von Kohlensäure entwickeln), so wird leicht an seiner Oberfläche ein Theil seines Kohlenstoffgehaltes — auch des Mangan-, Silicium-, Chrom- oder Wolframgehaltes, falls diese Körper zugegen sind — verbrannt und die Bezeichnung „Verbrennen des Stahles“ ist in diesem Falle richtig. Bei nur beschränkter Einwirkung erweisen sich die äusseren Theile des verbrannten Stahlstückes nach dem Schmieden und Erkalten grobkörniger und weicher als die inneren, und besonders für Werkzeugstahl ist diese Verringerung des Härtegrades von Nachtheil; bei stärkerem Verbrennen sprüht der Stahl beim Herauskommen aus dem Feuer in reichlichem Maasse Funken; durch das Sintern der entstandenen nichtflüchtigen Oxyde bilden sich die schon erwähnten Hartkörner, welche beim Schmieden die Entstehung von Kantenrissen veranlassen und durch ihre Anwesenheit scheinbar die Härte des erkalteten Stahles erhöhen; dieser ist spröde und unbrauchbar geworden.

Nicht immer lässt die chemische Untersuchung deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung solchen Stahles vor und nach dem Verbrennen wahrnehmen. Denn die Entkohlung ist ungleichmässig und betrifft vorwiegend die Oberfläche des Stahlstückes; ermittelt man in einer Durchschnittsprobe den Kohlenstoffgehalt, so wird auch in einem stark verbrannten Stahlstücke oft kein erheblicher Unterschied erkennbar sein. Silicium, Mangan, Chrom, Wolfram aber bleiben, obschon im verbrannten Zustande, in dem Stahle zurück und werden bei der Untersuchung in gleicher Menge als zuvor gefunden, sofern man nicht etwa durch ein besonderes Verfahren (Erhitzung im Chlorstrome) die entstandenen Oxyde von dem metallischen Eisen trennt. Einige von mir bei der Untersuchung verbrannten Stahles erlangte Ergebnisse mögen als Beispiele hier folgen [1]):

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Sauerstoff (an Eisen gebunden)	Mangan
Frischfeuerstahl, gesund	0,807	0,023	0,010	0,003	0,058	0,101
„ verbrannt	0,726	0,026	0,024	0,007	0,039	0,098
Gärbstahl [2]), gesund	0,827	0,033	0,027	0,004	0,037	0,010
„ verbrannt	0,723	0,033	n. best.	0,005	0,043	0,010
Tiegelstahl, gesund	0,917	0,098	0,025	0,005	0,045	0,125
„ verbrannt	0,916	0,093	0,025	0,008	0,063	0,150

Die hier aufgeführten Proben waren nur kurze Zeit — etwa 4 Minuten lang — in ein zur lebhaften Gluth angefachtes Holzkohlenfeuer gebracht und hier bis nahe zum Schmelzen erhitzt. Sie kamen funkensprühend heraus und zeigten auch nach dem Erkalten alle schon

1) Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1883, Seite 25. Die Proben sind später auch durch Wedding mikroskopisch untersucht worden; Näheres hierüber (mit Abbildungen der vergrösserten Schliffe): „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 633.

2) Gärbstahl ist ein durch Gärben, d. h. Schweissen, veredelter Schweissstahl. Näheres unter „Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens“.

erwähnten Merkmale des verbrannten Stahles. Drei andere Stahlproben wurden, ohne überhitzt zu werden, allzu lange (während einer Stunde) der Einwirkung eines Holzkohlenfeuers in Kirschrothgluth preisgegeben. Die Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes in diesen Versuchsstücken ergab:

Frischfeuerstahl, gesund; Kohlenstoffgehalt . .	1,141	Hunderttheile
„ , verbrannt; „ . .	1,000	„
Cementstahl, gesund; Kohlenstoffgehalt	0,891	„
„ , verbrannt; „	0,686	„
Martinstahl, gesund; Kohlenstoffgehalt	0,568	„
„ , verbrannt; „	0,504	„

Eine Wiederherstellung solchen im wirklichen Sinne verbrannten Stahles ist nicht möglich, obschon zahlreiche Mittel zur Erreichung des Zweckes vorgeschlagen worden sind. Alle diese Mittel laufen darauf hinaus, den Stahl in Umhüllung mit kohlenstoffhaltigen Körpern zu glühen. Reiner Kohlenstoffstahl (Schweissstahl) lässt sich wohl, wenn er nicht allzu sehr verbrannt war, etwas hierdurch verbessern; verbranntes Silicium, Mangan, Chrom, Wolfram aber können niemals durch solches Glühen wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückgeführt werden.

Bei allen Verfahren der Verarbeitung schmiedbaren Eisens, welche eine Erhitzung auf hohe Temperatur nothwendig machen, bedarf diese Erhitzung demnach um so grösserer Vorsicht, je reicher an Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Chrom, Wolfram das Eisen (der Stahl) ist. Erhitzung bis auf Weissgluth ist nur zulässig, wenn der Kohlenstoffgehalt weniger als 0,6 Hunderttheile beträgt; Stahl mit 0,7 bis 0,9 Hunderttheilen Kohlenstoff darf nur auf Gelbgluth, noch härterer nur auf Hellrothgluth erwärmt werden. Auch die Anwendung von Mitteln, welche den Stahl bei seiner Erhitzung gegen jede oxydirende Einwirkung zu schützen bestimmt sind (Erhitzung im Holzkohlenfeuer oder in reducirender Flamme, Ueberkleiden mit einem Lehmüberzuge beim Erhitzen, und dergl. mehr), gewinnt um so mehr Bedeutung, je reicher der Stahl an Kohlenstoff oder den sonstigen genannten Fremdkörpern ist.

9. Die Prüfung des schmiedbaren Eisens.

Die Verschiedenheit der Ansprüche, welche an die Eigenschaften des schmiedbaren Eisens gestellt werden, je nachdem es für den einen oder andern Zweck bestimmt ist, erklärt es, dass auch die Verfahren für seine Prüfung ziemlich mannigfaltig sind. Für besondere Arten oder Formen des schmiedbaren Eisens (Bleche, Träger, Eisenbahnschienen u. a.) können ganz besondere Prüfungsverfahren am Platze sein, und die Prüfung wird um so wichtiger, je grösser die Gefahr ist, welche durch ungenügende Beschaffenheit des Eisens — z. B. bei einer Eisenbahnschiene oder dem Radreifen eines Eisenbahnwagens — herbeigeführt wird.

Nicht selten wird man eine, wenn auch vielleicht nur vorläufige, Prüfung unmittelbar auf die Herstellung folgen lassen, um sich von der Beschaffenheit des in einem Satze dargestellten Eisens zu überzeugen. Je grösser die Menge dieses Eisens ist und je mehr Werth

auf eine bestimmte Beschaffenheit gelegt wird, desto nothwendiger ist eine solche Maassnahme. Einige unten beschriebene Verfahren zur Prüfung der Schmiedbarkeit, Zähigkeit u. s. w., welche sich in Zeit von wenigen Minuten ausführen lassen, sind hierfür geeignet und besonders bei Darstellung des Flusseisens ziemlich regelmässig in Anwendung.[1])

a) Chemische Untersuchung.

Bei den engen Beziehungen, welche zwischen der chemischen Zusammensetzung und den physikalischen Eigenschaften des Eisens bestehen, ist eine chemische Untersuchung überall da unerlässlich, wo man sich ein klares Bild über die Eigenschaften einer bestimmten Eisenart und die Ursachen, welche diese Eigenschaften hervorriefen, verschaffen will. Die Einflüsse, welche durch die einzelnen im schmiedbaren Eisen auftretenden Körper auf dessen Eigenschaften ausgeübt werden, sind bereits in der ersten Abtheilung dieses Buches (Abschnitt VII), sowie in den vorstehenden Besprechungen über die Eigenschaften des schmiedbaren Eisens ausführlich erörtert worden.

Eine vollständige chemische Untersuchung irgend eines Eisens erfordert jedoch, wie bekannt, einige Tage Zeit. So wichtig sie auch in einzelnen Fällen werden kann, so wenig geeignet ist sie, als Mittel zur täglichen Beaufsichtigung des Betriebes zu dienen. Nicht selten aber — und zwar besonders häufig bei Darstellung des an legirten Körpern ohnehin reicheren Flusseisens — sind es einzelne bestimmte Körper, von deren Gehalte im Eisen seine Verwendbarkeit für den einen oder andern Zweck vorwiegend abhängt, sei es, dass ein gewisser Gehalt daran für die gewünschte Beschaffenheit des Eisens nothwendig ist, während ein allzu beträchtlich gesteigerter Gehalt die Brauchbarkeit beeinträchtigen würde (Kohlenstoff, Mangan), sei es, dass ein möglichst geringer Gehalt in jedem Falle wünschenswerth ist (Phosphor, Schwefel). Hier also kann es von Nutzen sein, die Darstellung des Eisens durch eine regelmässig wiederholte Bestimmung jener einzelnen Bestandtheile zu überwachen; die Lösung dieser Aufgabe aber ist nur dann möglich, wenn die betreffenden Untersuchungsverfahren so rasch zum Ziele führen, dass eben ohne einen übermässigen Aufwand von Arbeitskräften eine grössere Zahl von Bestimmungen im Laufe eines einzigen Tages ausgeführt werden kann.

Für verschiedene der hier in Betracht kommenden Körper giebt es solche Bestimmungsverfahren, und mit Nutzen macht man davon Gebrauch. Auf fast allen Stahl- und Flusseisenwerken bestimmt man mit Hülfe der Eggertz'schen oder colorimetrischen Kohlenstoffprobe[2]), welche im Laufe weniger Stunden die gleichzeitige

1) Bei den Verfahren zur Darstellung des Flusseisens pflegt nicht nur die Menge des in einem Male (aus einem Einsatze) erfolgenden Eisens bedeutend grösser zu sein als bei der Schweisseisendarstellung, sondern auch die Beschaffenheit des Erzeugnisses ist durchschnittlich mehr von Zufälligkeiten abhängig als in letzterem Falle.

2) Hinsichtlich der Ausführung der für die chemische Untersuchung in Betracht kommenden Verfahren muss auf die betreffende Sonderliteratur verwiesen werden; z. B. H. Jüptner von Jonstorff, Handbuch für Eisenhütten-Chemiker, Leipzig 1885; A. Ledebur, Leitfaden für Eisenhütten-Laboratorien, 3. Auflage,

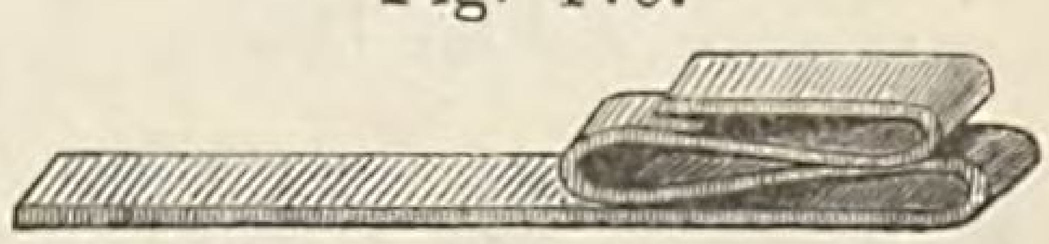
Untersuchung verschiedener Proben ermöglicht, regelmässig den Kohlenstoffgehalt des gewonnenen Erzeugnisses, von welchem, wie bekannt, die Eigenschaften des Eisens und Stahles in erster Reihe abhängen. Ebenso kann ein einziger Chemiker durch maassanalytische oder colorimetrische Bestimmung den Mangangehalt zahlreicher Proben in wenigen Stunden finden, und auch eine genaue Phosphorbestimmung ist innerhalb zweier Stunden möglich. Schwefel lässt sich wenigstens mit annähernder Genauigkeit binnen einer halben Stunde finden. Je deutlicher man die Wichtigkeit erkannt hat, welche die regelmässige Untersuchung der Erzeugnisse besitzt, desto mehr sind auch die Verfahren hierfür vervollkommnet worden, und jedes Jahr bringt neue Fortschritte auf diesem Gebiete.

b) Schmiedeprobe.

Bei dieser Prüfung kommt in Betracht, dass die Schmiedbarkeit des Eisens geringer wird, wenn der Kohlenstoffgehalt zunimmt, und dass man aus diesen Gründen an einen harten Stahl nicht die nämlichen Ansprüche hinsichtlich der Schmiedbarkeit stellen kann als an ein weiches, kohlenstoffarmes Eisen. Immerhin muss auch ein Stahl mit einem Kohlenstoffgehalte bis zu etwa 1 Hunderttheil oder wenig darüber die nachfolgend beschriebenen Proben aushalten können, sofern seine Beschaffenheit gut ist und bei den Proben einige Rücksicht auf seinen höheren Kohlenstoffgehalt genommen wird.

Ein Stück des zu prüfenden Eisens wird im Schmiedefeuer auf Hellrothgluth erwärmt und nun auf dem Ambos mit der Finne (der schmalen Seite) des Hammers theils in der Längsrichtung gestreckt, theils in der Breitenrichtung ausgebreitet.[1]) Weder im vollen Eisen noch an den Kanten dürfen hierbei Risse entstehen, auch wenn das Ausschmieden bis auf einen Querschnitt von nur wenigen Millimetern Stärke fortgesetzt wird. Kühlt bei lange fortgesetztem Ausschmieden das Probestück allzusehr ab, so ist, zumal beim Prüfen härteren Materiales, eine abermalige Erhitzung erforderlich.

Fig. 178.



Den auf einen geringen Querschnitt ausgeschmiedeten Streifen kann man in Rothgluth bandartig mehrmals zusammenlegen (Fig. 178), wobei er, wenn er ganz frei von Rothbruch ist, keine Risse bekommen darf. Je kleiner der Durchmesser der Biegung ist, ohne dass Risse entstehen, desto besser schmiedbar ist das Eisen; ein nicht rothbrüchiges Eisen lässt sich, falls sein Querschnitt gering ist, vollständig zusammenlegen. Schwach rothbrüchiges, aber übrigens gut schmiedbares Eisen bekommt zwar in gewöhnlicher Rothgluth Risse, in Gelbgluth oder beginnender Weissgluth dagegen erträgt es die Behandlung, ohne zu reissen.

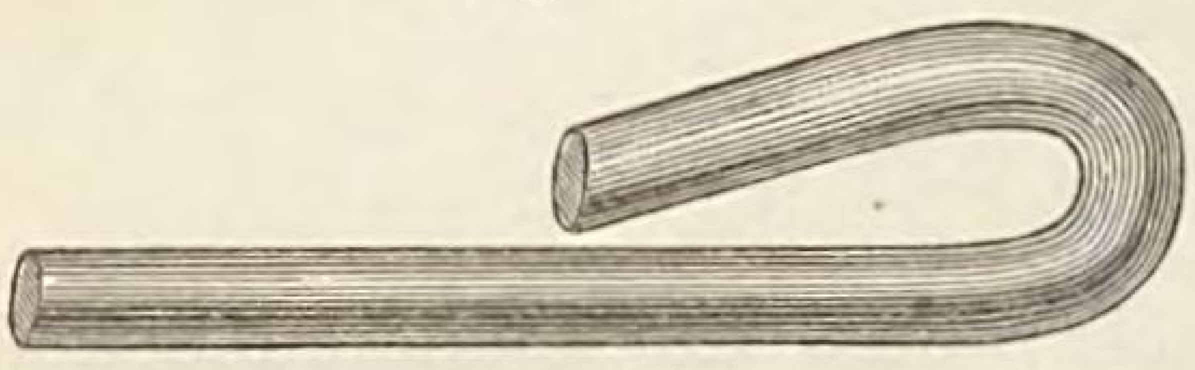
Ein Rundstab oder Quadratstab von etwa 30 mm Durchmesser

Braunschweig 1889; A. Blair, Die chemische Untersuchung des Eisens, deutsch von L. Rürup, Berlin 1892.

1) Streckung wird bewirkt, indem man das Eisenstück beim Schmieden so hält, dass die Eindrücke der Hammerschläge quer hinübergehen; beim Ausbreiten ist die Richtung der Hammerschläge mit der Längenrichtung des Eisenstückes parallel. Vergl. unten: Theorie des Schmiedens unter II.

wird erwärmt und in Rothgluth, ohne zuvor ausgeschmiedet zu werden, über einem Dorne zu einer einfachen Schleife (Fig. 179) zusammengebogen. Es ist klar, dass hierbei um so leichter Risse entstehen, je dicker der Stab ist; und umgekehrt, dass der letztere um so vorzüglicher schmiedbar ist, auf einen je kleineren Schleifendurchmesser er das Biegen erträgt, ohne Risse zu bekommen. Verwendet man zu dieser Probe Quadratstäbe oder Flachstäbe, so kann man ihre Kanten, welche am leichtesten Risse bekommen, zuvor mit der Feile etwas abrunden. Ein gut schmiedbares Eisen lässt sich auch bei 30 mm Stärke vollständig zusammenhämmern, ohne zu reissen.

Fig. 179.



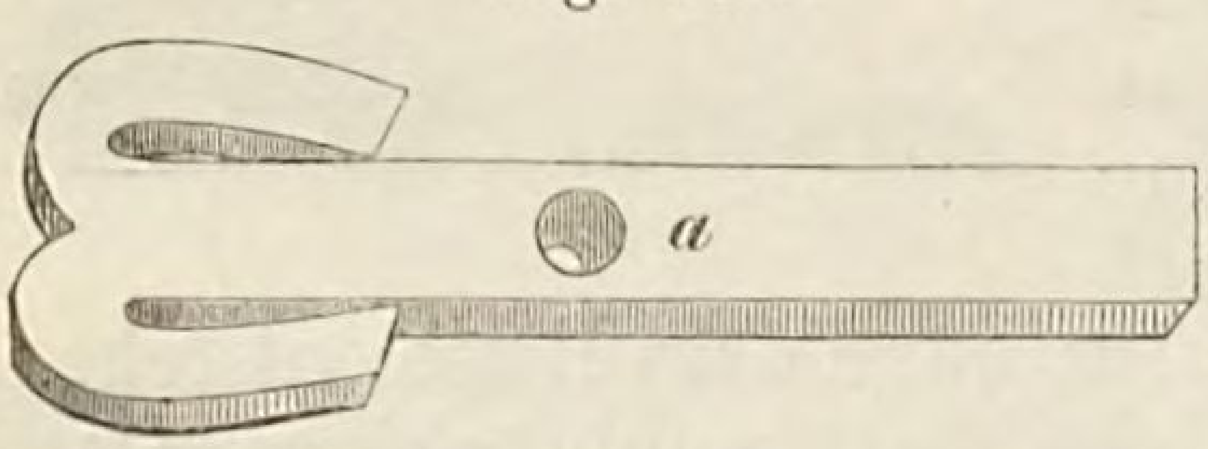
Bei Flach- und Quadratstäben kann der Versuch auch in der Weise angestellt werden, dass man sie um die scharfe Amboskante statt über einen runden Dorn biegt und dann allmählich zusammenhämmert.

Dieselben Versuche können, wenn das stärkere Eisen sie nicht besteht, mit schwächeren Stäben (25, 20, 15 mm stark) wiederholt werden. Steht eine Presse zur Verfügung, so können Knickproben, bei denen das Eisen in der Mitte seiner Länge um einen bestimmten Winkel (90°, 120° u. s. f.) gebogen wird, an Stelle der Schmiedeproben treten oder neben ihnen ausgeführt werden.

Ein Rund- oder Quadratstab, dessen Länge gleich dem doppelten Durchmesser ist, wird zur Hellrothgluth erwärmt, aufrecht auf den Ambos gestellt und durch Hammerschläge auf die obere Stirnfläche gestaucht, d. h. in seiner Längenabmessung verkürzt (Stauchprobe). Die Probe ist mehr für die besseren Sorten weichen Schweisseisens als für Flusseisen oder Stahl geeignet. Von gutem Schweisseisen verlangt man, dass es sich in dieser Weise auf ein Drittel seiner Länge zusammenstauchen lasse, ohne Risse zu zeigen.

Eine empfindlichere Probe auf Rothbruch als durch einfaches Umbiegen, wie oben beschrieben wurde, lässt sich in folgender Weise anstellen. Ein Stück Flacheisen, etwa 25—30 mm breit, 10 mm stark, wird in Rothgluth an dem einen Ende auf eine Länge von 50—60 mm mit Hülfe des Schrotmeissels aufgespalten, die hierbei entstehenden zwei Lappen werden alsdann nach den beiden Seiten hin umgebogen und schliesslich, sofern sie nicht etwa wegen Rothbruches abbrechen, vollständig nach rückwärts an das Eisenstück angelegt (Fig. 180).

Fig. 180.



An einer anderen Stelle des Eisenstabes (bei *a* in Fig. 180) schlägt man mit Hülfe des Durchschlages und Lochringes durch das rothglühende Eisen ein Loch, dessen Durchmesser mindestens gleich der halben Breite des Stabes ist (so dass zwischen dem Lochrande und der äusseren Kante des Stabes nur noch eine schmale Eisenstärke bleibt) und biegt nun, wenn nicht schon bei dem Lochen ein Reissen des Eisens an den schmalen Stellen eintrat, den Stab an dieser Stelle um 180 Grad zusammen. Rothbrüchiges Eisen bekommt hierbei Risse oder bricht vollständig durch.

Prüft man Stahl in dieser Weise, so ist eine geringere Stärke des Probestabes, als oben angegeben wurde, erforderlich; 3—5 mm genügt in diesem Falle.

c) Kaltbiegeprobe.

Diese Art der Prüfung kommt vorzugsweise bei solchen Eisensorten zur Anwendung, bei welchen grosse Zähigkeit ein Haupterforderniss ist; weniger häufig bei Stahl mit mehr als 0,6 Hunderttheilen Kohlenstoff.

Die Ausführung lässt sich, gemäss der verschiedenen Form des zu prüfenden Eisens, in verschiedener Weise bewirken.

Stäbe biegt man entweder im Schraubstocke oder mit Hülfe einer besonderen Biegevorrichtung zu einer Schleife zusammen, deren lichter Durchmesser theils von der Stärke des Stabes, theils von der erforderlichen Beschaffenheit abhängig ist. Kohlenstoff- und phosphorarmes, sehr zähes Eisen muss bei 15 mm Stärke eine Biegung zu einer Schleife ertragen, deren innerer Durchmesser nicht grösser ist als die Stärke des Probestabes; bei weniger zähem Eisen genügt die doppelte Stärke des Eisens als Durchmesser der Schleife. Schwächere Stäbe (3—5 mm stark) müssen, wenn sie aus zähem Eisen gefertigt sind, sich vollständig um 180 Grad biegen und flach zusammenschlagen lassen. Haben die Stäbe vierseitigen Querschnitt (Flach- und Quadrateisen), so empfiehlt sich auch hier, wie bei der Schmiedeprobe, eine zuvorige Abrundung der Kanten durch Befeilen.

Prüft man Stäbe, welche aus Schweisseisen-Blechen ausgeschnitten sind, in dieser Weise, um die Beschaffenheit der Bleche kennen zu lernen, so kommt in Betracht, dass ihre Biegsamkeit in der Richtung der Längsfaser grösser ist als gegen die Faser, ferner dass die für Dampfkessel, Träger u. s. w. bestimmten Bleche in ziemlich abgekühltem Zustande das Walzwerk verlassen und, ohne ausgeglüht zu werden, in den Handel kommen. Ihre Festigkeit ist daher grösser, ihre Biegsamkeit aber geringer, als wenn sie noch hellroth glühend aus der Verarbeitung hervorgingen. Nach dem Uebereinkommen des Vereins deutscher Eisenhüttenleute sollen z. B. Schweisseisenbleche bester Beschaffenheit für Dampfkessel (Feuerbleche) bei 6—8 mm Stärke eine Biegung in der Längsfaser um 130 Grad, in der Richtung gegen die Faser um 110 Grad aushalten; bei 8—10 mm Stärke soll die Biegung 120 und 100 Grad betragen, bei 20—22 mm Stärke 60 und 40 Grad. Für geringwerthigere Bleche ist auch die erforderliche Biegung geringer.[1])

Ausgeglühte Bleche dagegen, auch solche aus Flusseisen, müssen sich, ohne zu reissen, um 180 Grad biegen lassen, wobei der Halbmesser der Biegung je nach der Beschaffenheit und Stärke des Bleches gleich der halben bis 1½ fachen Blechdicke sein kann.

Flusseisen mit geringem Kohlenstoffgehalte prüft man mitunter, ehe noch das flüssige Metall sämmtlich ausgegossen wird, in folgender Weise auf Biegungsfähigkeit (Zähigkeit beim Biegen). Aus einer für diesen Zweck besonders genommenen und zu einem kleinen Blocke ausgegossenen Probe des flüssigen Metalls schmiedet man rasch eine kreisrunde Scheibe von ungefähr 150 mm Durchmesser und 5 mm Stärke, welche, nachdem sie in Wasser abgelöscht wurde, in der Mitte um

1) Vorschriften für die Lieferungen von Eisen und Stahl. Düsseldorf 1893.

180 Grad zusammengefaltet wird. Hält die Probe diese Biegung aus, so wird sie ein zweites Mal gefaltet (so dass sie, wie ein Papierfilter, Viertelkreisform annimmt) und unter dem Hammer vollständig zusammengeschlagen. Nur sehr weiches, geschmeidiges Eisen erträgt diese Probe, ohne Risse zu bekommen.

d) Schlagprobe.

Dieser Versuch hat den Zweck, das Eisen auf Widerstandsfähigkeit gegen Stösse und Erschütterungen zu prüfen.

Die Schlagprobe wird, sofern das zu prüfende Eisen Stabform besitzt, gewöhnlich in der Weise ausgeführt, dass man das Eisen auf zwei in entsprechender Entfernung von einander angebrachte Stützpunkte frei auflegt und nun einen Fallbär aus bestimmter Höhe auf die Mitte des freiliegenden Probestückes niederfallen lässt. Am häufigsten kommt diese Schlagprobe bei der Prüfung von Eisenbahnschienen in Anwendung. So z. B. sollen nach den Vorschriften des Vereins deutscher Eisenhüttenleute Schienen im Gewichte von mehr als 30 kg auf den Meter und einer Profilhöhe von ungefähr 130 mm bei 1 m freier Auflage zunächst einen Schlag von 3000 kgm Schlagarbeit erhalten, alsdann Schläge von 1200 kgm Schlagarbeit so lange, bis eine Durchbiegung von 110 mm erreicht ist, ohne dass Bruch erfolgen darf; u. s. f.

Bleche hat man bisweilen, um einen Vergleich über die Widerstandsfähigkeit verschiedener Sorten zu erhalten, durch die Schlagprobe geprüft, indem man kreisrunde Scheiben ausschnitt, sie mit Schrauben auf einem cylindrischen Rahmen befestigte und nun den Fallbär auf die Mitte des freiliegenden Bleches aufschlagen liess. Bei Versuchen, welche vom Jernkontoret in Stockholm zum Vergleiche des Verhaltens von Blechen aus Schweisseisen und Flusseisen durchgeführt wurden, hatten die Bleche 9,3 mm Stärke, der innere Durchmesser des Rahmens betrug 537 mm, das Gewicht des Fallbäres 872 kg. Flusseisenbleche mit 0,14—0,22 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,01—0,03 Hunderttheilen Phosphor ertrugen 5—9 Schläge aus 4,5 m Höhe; Schweisseisenbleche mit etwa 0,10 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,01—0,02 Hunderttheilen Phosphor rissen oft schon beim ersten Schlage, ertrugen dagegen aus nur 1,5 m Fallhöhe 4—11 Schläge; Staffordshireblech mit 0,24 Hunderttheilen Phosphor brach schon beim ersten Schlage aus 1 m Höhe.[1])

e) Zerreissprobe (Zugfestigkeitsprüfung).

Sie bezweckt die Ermittelung der Zugfestigkeit des zu untersuchenden Eisens, sowie der sonstigen zu dieser in Beziehung stehenden Eigenschaften (Ausdehnungsfähigkeit, Elastizität u. s. w.). Sie ist wichtig in allen Fällen, wo das Eisen auf Zugfestigkeit in Anspruch genommen wird, und wo durch den Bruch ein Unglücksfall herbeigeführt werden kann; und da zu der Zugfestigkeit des schmiedbaren Eisens auch seine Durchbiegungsfestigkeit in naher Beziehung zu stehen pflegt, eine Prüfung auf erstere aber in Rücksicht auf die grosse Biegsamkeit dünnerer Stäbe aus schmiedbarem Eisen gewöhnlich leichter durchführbar ist als

1) A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris 1878, Seite 172.

letztere, pflegt man die Zerreissprobe überhaupt da anzuwenden, wo eine gewisse Festigkeit des Eisens unumgänglich nothwendig ist, damit der aus dem Eisen dargestellte Gebrauchsgegenstand — die Eisenbahnschiene, der Träger, der Dampfkessel u. s. w. — seinen Zweck ohne Gefahr für Leben und Gesundheit der Menschen erfülle.

Zur Ausführung der Zerreissprobe ist eine Festigkeitsprüfungsmaschine erforderlich, welche in ziemlich verschiedener Weise eingerichtet sein kann.[1]) Der auszuübende Druck wird entweder durch allmähliche Gewichtsbelastung hervorgebracht und durch Hebel vervielfältigt, oder man benutzt hydraulischen Druck.

Da jede derartige Maschine nur für eine bestimmte Höchstbelastung eingerichtet sein kann, kommt es darauf an, wenn stärkere Eisensorten geprüft werden sollen, Probestücke aus ihnen von solchen Querschnittsabmessungen herzustellen, als der Leistungsfähigkeit der Maschine entspricht. Schmieden oder Auswalzen des Probestückes auf jene Abmessungen muss jedoch in Rücksicht auf die früher besprochenen Einflüsse dieser Arbeiten auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens ausgeschlossen sein, sofern man genaue Ergebnisse über das Maass dieser Eigenschaften bei dem ursprünglich vorhandenen Eisenstücke erhalten will; es ist vielmehr erforderlich, auf der Drehbank oder Hobelmaschine das Probestück aus dem vollen Eisen herauszuarbeiten.

Dass es erforderlich sei, die vor dem Zerreissen eintretende Längenausdehnung auf eine bestimmte Längeneinheit zu beziehen, sofern man sie für einen Vergleich verschiedener Eisensorten benutzen will, wurde schon früher erörtert. In der Nähe der Zerreissungsstelle ist die Längenausdehnung regelmässig am stärksten; auf eine je kleinere Längeneinheit man sie also bezieht, desto grössere Ziffern wird man erhalten. Gewöhnlich pflegt man 100 oder 200 mm Länge, bei sehr dünnen Gegenständen auch wohl nur 50 mm, als Einheit anzunehmen und dieses Maass mit Körnerpunkten auf dem eingespannten Stabe anzuzeichnen.

f) Härtungsprobe.

Da kohlenstoffarmes Eisen überhaupt keine oder nur sehr undeutliche Härtungsfähigkeit zeigt, kommt die Härtungsprobe vorwiegend bei den kohlenstoffreicheren Sorten, dem Stahle, in Anwendung. Einem Ablöschen unterwirft man jedoch auch kohlenstoffarmes Eisen wohl in solchen Fällen, wo man prüfen will, wie seine Festigkeitseigenschaften dadurch sich ändern. Die eigentliche Härtungsprobe dagegen besitzt eine besondere Wichtigkeit bei dem zur Herstellung von Werkzeugen bestimmten Stahle, weil gerade hier die Brauchbarkeit zum grossen Theile von der Härtungsfähigkeit und dem Verhalten des Stahles beim Härten abhängt. Reiser[2]) empfiehlt, die Untersuchung in folgender Weise auszuführen.

Zuerst stellt man eine Vorprüfung an zur Ermittelung der geeignetsten Härtungstemperatur. Ein geschmiedetes oder gewalztes Stück Stahl von etwa 200 mm Durchmesser wird in Abständen von 15 zu

1) Näheres über die Einrichtung solcher im Betriebe bewährter Prüfungsmaschinen unter Literatur.

2) Härten des Stahles, Seite 48 (vergl. Literatur).

15 mm mit etwa neun herumlaufenden Kerben versehen und dann in einem Schmiedefeuer derartig erhitzt, dass nur das erste eingekerbte Stück der Gluth unmittelbar preisgegeben ist und die übrigen sich ausserhalb des Feuers befinden. Ist das erste Stück bis zum Funkensprühen, also bis zum Verbrennen (Seite 694) erhitzt, während die Erhitzung des letzten Stückes bis zur dunkeln Braunröthe vorgeschritten ist, so löscht man die Stange rasch in Wasser ab und trocknet sie mit einem Tuche oder dergleichen sorgfältig ab. Man prüft nun zunächst mit einer harten Feile die Härte der einzelnen Stücke. Das erste, verbrannte Stück wird in jedem Falle ziemlich hart sein. An seiner Aussenseite haben sich Hartkörner gebildet (Seite 695).

Das zweite, nicht verbrannte Stück dagegen ist weicher; da aber seine Erhitzung die eigentliche Härtungstemperatur des Stahles bereits überschritten hatte, ist es auch weicher, als wenn es nur bis zu dieser erhitzt worden wäre. Aus eben diesem Grunde ist das dritte Stück wieder härter als das zweite, das vierte härter als das dritte; und bei fortschreitender Untersuchung wird man, gewöhnlich zwischen dem sechsten und zehnten Stücke, schliesslich auf ein Stück treffen, welches unter allen das härteste ist und dessen Temperatur mithin die geeignetste für das Härten war. Von diesem Stück bis zu dem zweiten Ende des Stahlstabes vermindert sich die Härte wieder bis zur Naturhärte des Stahles.

Mit dieser Aenderung der Härte steht die Aenderung des beim Abschlagen der einzelnen Stücke erkennbaren Gefüges in naher Beziehung. Das verbrannte Stück zeigt, wie gewöhnlich, eine grobkrystallinische glänzende Bruchfläche; dasjenige Stück, welches die zum Härten geeignetste Temperatur besass, ist am feinkörnigsten.

Harter Stahl wird bei dieser Vorprobe nicht selten reissen, welcher Vorgang jedoch an und für sich keineswegs ein Beweis für eine ungenügende Beschaffenheit ist.

Nachdem man in solcher Weise erkannt hat, ob die Härtungstemperatur des zu prüfenden Stahles höher oder niedriger liegt (fast immer wird sie bei härterem Stahle tiefer als bei weniger hartem liegen), schmiedet man eine Stange von quadratischem Querschnitte und etwa 15—20 mm stark, erwärmt sie zu der als geeignet befundenen Härtungstemperatur und härtet sie in Wasser von 20° C. Temperatur. Das Härten wird durch Eintauchen des in senkrechter Lage gehaltenen Stabes in Wasser unter gelindem Hin- und Herbewegen bewirkt. Soll der Stab nicht in seiner ganzen Länge eingetaucht werden, so ist es rathsam, ihn während der Abkühlung in Wasser auf und nieder zu bewegen, um einen allmählichen Uebergang zwischen dem gehärteten und nicht gehärteten Theile herzustellen und ein Abspringen zu vermeiden. Ein nicht sehr harter Stahl muss, ohne zu reissen, diese Härtung aushalten. Beachtenswerth ist, dass ein Rundstab weniger leicht als ein quadratischer Risse bekommt, gerade deshalb aber sich auch weniger gut für eine scharfe Probe eignet.

Sobald der Stahl im Wasser vollständig erkaltet ist, wird er herausgenommen und abgetrocknet. Je weniger vollständig der Stahl hierbei seinen Glühspan abgeworfen hat (man nennt dieses Abwerfen Abschütten), desto weniger hart pflegt er zu sein. Alsdann unter-

sucht man ihn mit einer Feile. Nur die weichsten Stahlsorten (mit einem Kohlenstoffgehalte bis zu 0,6 Hunderttheilen) werden hierbei etwas angegriffen, auf allem härteren Stahle gleitet die Feile.

Auf der Kante des Ambos schlägt man nun ein Stück ab. Harter Stahl springt beim ersten Schlage, weicher erträgt mehrere Schläge. Das Aussehen der Bruchfläche giebt ein weiteres Merkmal für die Beschaffenheit.

Bei sehr harten Stahlsorten, welche die beschriebene Härtung bei quadratischem Querschnitte nicht, ohne zu reissen, ertrugen, kann das Verfahren wiederholt werden, nachdem der Stab rund geschmiedet worden war; schützt auch dieses Mittel nicht vor dem Reissen, so wendet man Härtung in Oel an.

Recht zuverlässige Ergebnisse über die Brauchbarkeit eines Stahles für Werkzeuge erhält man, wenn man daraus einen Meissel fertigt, ihn härtet, bis zur purpurrothen oder violetten Farbe anlässt (Seite 662) und nun auf Gusseisen, Schmiedeeisen oder weichen Stahl prüft. Staucht sich hierbei die Schneide (welche unter einem Winkel von 60 — 70 Grad angeschliffen zu werden pflegt), so besitzt der Stahl geringe Härte und Härtungsfähigkeit; springen Stückchen aus der Schneide aus, so ist der Stahl spröde und wenigstens für Werkzeuge mit schärferen Schneiden nicht geeignet.

g) Aetzprobe.

Die Anwendung von Aetzmitteln bildet ein in vielen Fällen nützliches Verfahren zur Erkennung sowohl des inneren Gefüges der Eisensorten, als auch mitunter von Fehlstellen (unganzen Schweissstellen und dergleichen), welche ohne Aetzung der Beobachtung leicht entgehen. Als Aetzmittel pflegt man starke Säuren zu benutzen. Einige verwenden ein Gemisch von drei Theilen starker Salzsäure mit einem Theile Salpetersäure; Andere ein Gemisch aus zwei Theilen Salpetersäure mit einem Theile englischer Schwefelsäure; auch Salzsäure allein ist oft gut brauchbar, bedarf aber längerer Zeit zum Angriffe als jene Säuregemische. Gewöhnlich wird man, sofern nicht besondere Veranlassung zur Untersuchung einer ganz bestimmten Stelle vorliegt, zur Prüfung den Querschnitt eines Eisenstabes wählen, wie er durch Abschneiden auf der Kreissäge oder durch Abbrechen und Befeilen erhalten wird. Auf einem Schleifsteine glättet man dann noch die zu ätzende Schnittfläche und polirt sie schliesslich, so dass mit unbewaffnetem Auge keine einzelnen Schleif- oder Feilstriche mehr zu erkennen sind.

Für gewöhnlichere Untersuchungen, bei denen es sich nur darum handelt, Fehlstellen zu entdecken oder ein allgemeines Bild von der inneren Beschaffenheit des Eisens zu erhalten, genügt es auch, wenn die zu ätzende Fläche mit einer Schlichtfeile möglichst glatt gefeilt wird.

Lässt sich das zu prüfende Stück in senkrechter Stellung hängend befestigen, so bringt man am geeignetsten die Aetzflüssigkeit in eine nicht allzu flache Porzellanschale und lässt die Probe von oben her — mit der zu ätzenden Fläche nach unten — in die Säure eintauchen, ohne dass sie den Boden der Schale berührt; ist es dagegen nicht möglich, sie in dieser Weise zu befestigen, oder soll nur eine bestimmte

Stelle auf einer grösseren Fläche — einer Blechtafel, einem Schmiedestücke u. s. w. — untersucht werden, so umgiebt man diese Stelle oder Fläche mit einem Wachsrande und giesst die Säure hinein. Für tiefe Aetzungen ist eine Einwirkung von einer bis zwei Stunden erforderlich; bei Anwendung von Salzsäure allein kann eine zwölfstündige Einwirkung nothwendig werden. Es empfiehlt sich, das Eisenstück, wenn es angeht, während dieser Zeit einige Male aus der Flüssigkeit herauszunehmen, mit Wasser gut abzuspülen und die geätzte Fläche mit einer harten Zahnbürste von abgelagertem Kohlenstoff und dergleichen zu reinigen; auch wird es bisweilen nothwendig sein, die Säure zu erneuern, sofern das Aufhören der Gasentwickelung zeigt, dass sie nicht mehr einwirkt.

Schliesslich spült man das Probestück sorgfältig in fliessendem Wasser ab, bringt es, sofern seine Grösse es gestattet, mit der geätzten Fläche in kochendes Wasser, lässt es so lange darin verweilen, bis auch der nicht im Wasser befindliche Theil heiss geworden ist, und nimmt es heraus, worauf das anhaftende Wasser von dem heissen Eisenstücke in wenigen Augenblicken verdunstet.

Will man die Proben etwa längere Zeit aufbewahren, so empfiehlt es sich, sie vor dem Einbringen in heisses Wasser, aber nach dem Abspülen in kaltem, zunächst in Kalkwasser zu tauchen, und schliesslich, nachdem sie aus dem heissen Wasser kommen, sie noch heiss in geschmolzenes, ziemlich stark erhitztes Wachs einige Secunden einzulegen. Mit reinem Fliesspapier wischt man, wenn sie herauskommen, das überschüssige flüssige Wachs ab, und es hinterbleibt dann immerhin noch eine ausreichend starke Wachsshicht, um sie vor dem Rosten zu schützen, ohne ihrem Aussehen zu schaden.

Der Erfolg der Aetzprobe beruht auf dem Umstande, dass durch die Säure dichtere Stellen des Eisens weniger stark als lockere, härtere, insbesondere kohlenstoffreichere, weniger stark als weichere, kohlenstoffärmere angegriffen werden. Ersterer Umstand erklärt es z. B., dass bei sehnigem Eisen die einzelnen Sehnen oder Fasern, welche vielleicht auf der Bruchfläche gar nicht erkennbar waren, nach dem Aetzen reliefartig sich von den übrigen Partien abheben und dem Auge sich darstellen. Wie schon früher erörtert wurde, bestehen diese Sehnen aus fest zusammenhängenden Krystallreihen, welche ähnlich wie die Strähnen eines Taues neben einander liegen, gegenseitig aber verhältnissmässig wenig Zusammenhang besitzen. Zwischen den einzelnen Sehnen also dringt die Säure leicht in das Gefüge ein und löst hier das lockere Eisen auf, während die Sehnen selbst erst allmählicher angegriffen werden.

Dieselbe Ursache erklärt es, dass auch Fehlstellen im Eisen durch das Aetzen leichter wahrnehmbar werden. Eine solche Fehlstelle besteht aus einem Spalte, welcher durch unvollständige Schweissung, durch Blau- oder Rothbruch beim Schmieden oder auch im kalten Zustande durch irgend eine äussere Einwirkung entstanden war. Beim Aetzen dringt die Säure in den Spalt ein, erweitert ihn und macht ihn dem Auge erkennbar.

Härtere Stellen pflegen beim Aetzen erhaben vor den weicheren herauszutreten.

Eigenthümlich für alles Schweisseisen beim Aetzen ist die Entstehung von Löchern in unregelmässiger Vertheilung und oft grosser Zahl auf der geätzten Fläche, deren Durchmesser und Tiefe mitunter einige Millimeter erreicht. Sie verrathen den Schlackengehalt des Schweisseisens. An der Stelle jedes solchen Loches befand sich ursprünglich ein Schlackenkörnchen, welches bei der Erweiterung der Oeffnung herausfiel und so der Säure Gelegenheit zu einer raschen ferneren Erweiterung der Oeffnung gab. An dem Boden des Gefässes, in welchem das Aetzen vorgenommen wurde, lassen sich mitunter die Reste dieser Schlackenkörnchen entdecken.

Da sehniges Schweisseisen durchschnittlich am meisten Schlacke zu enthalten pflegt, so ist auch bei diesem die Zahl jener Löcher am grössten. Je vollständiger das Eisen durch vorausgegangene mechanische Bearbeitung von Schlacke gereinigt worden war, desto mehr verschwinden auch diese Anzeichen des Schlackengehaltes.

Beim Flusseisen dagegen werden durch das Aetzen die Hohlräume erkennbar, welche beim Giessen theils infolge der stattfindenden Entwickelung von Gasen, theils infolge der Schwindung sich bildeten[1], bei der späteren Verarbeitung des Flusseisens zwar zusammengedrückt und dadurch der unmittelbaren Erkennung auf der Bruchfläche entzogen, aber nicht geschweisst wurden. Durch das Aetzen werden sie erweitert und solcherart deutlich erkennbar gemacht.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

Henry Marion Howe, The Metallurgy of Steel, vol. I. New York 1890.

Knut Styffe, Die Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl. Deutsch von C. M. v. Weber. Weimar 1870.

Fr. Reiser, Das Härten des Stahles in Theorie und Praxis. Leipzig 1881.

b) Abhandlungen.

B. Braune, Ueber Gefügeänderungen im Eisen und Stahl. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1885, S. 96.

M. Janoyer, Untersuchungen über die Textur des Schmiedeeisens. Mit Bemerkungen von L. Gruner. Aus den Annales des mines, série 7, tome V; in deutscher Uebersetzung in der berg- und hüttenm. Ztg. 1853, S. 53.

R. E. Tülff, Ueber die Abhängigkeit der Structur der Bruchflächen schmiedeeiserner Stäbe von der Wirkungsweise der zerstörenden Kraft. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, S. 501; „Stahl und Eisen" 1888, S. 378.

A. v. Kerpely, Ueber eine neue Blaubruchprobe für Stahl. Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 405.

J. A. Brinell, Ueber die Texturveränderungen des Stahles bei Erhitzung und bei Abkühlung. „Stahl und Eisen 1885, S. 611.

H. Wedding, Die Eigenschaften des schmiedbaren Eisens, abgeleitet aus der mikroskopischen Untersuchung des Gefüges. „Stahl und Eisen" 1885, S. 489.

A. Martens, Ueber das Kleingefüge des schmiedbaren Eisens. „Stahl und Eisen" 1887, S. 235.

1) Näheres über die Entstehung dieser Hohlräume ist im IV. Abschnitt mitgetheilt.

A. Ledebur, Ueber die Blaubrüchigkeit des Eisens und Stahles. Glasers Annalen, Bd. XVIII, S. 205.

E. Grosse, Flusseisen oder Schweisseisen? Glasers Annalen, Bd. XX, S. 21 (Versuche über Blaubrüchigkeit enthaltend).

Stromeyer, Ueber Blaubrüchigkeit. Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1883, S. 369.

A. Ledebur, Beiträge zur Metallurgie des Eisens (Schweissbarkeit). Glasers Annalen, Bd. X, S. 179.

W. Hupfeld, Untersuchungen über die Schweissbarkeit des Bessemereisens. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1884, Nr. 8; daraus in „Stahl und Eisen" 1884, S. 271.

Fr. Reiser, Beiträge zur Theorie der Schweissbarkeit des Eisens. Glasers Annalen, Bd. XI, S. 25.

R. Howson, On welding iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1876, p. 357.

Dr. Böhme, Bericht der vom Vereine zur Beförderung des Gewerbfleisses berufenen Commission für die Untersuchung der Schweissbarkeit des Eisens. Verh. d. Ver. zur Beförd. d. Gewerbfl. 1883, S. 146.

Bauschinger, Vergleichende Versuche über die Schweissbarkeit des Fluss- und Schweisseisens. „Stahl und Eisen" 1886, S. 89.

Jarolimek, Ueber das Härten des Stahles. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1876, S. 69.

P. v. Tunner, Ueber das Härten des Stahles, seine Ursachen und Wirkungen. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1879, S. 307.

W. Metcalf, Ueber das Härten des Stahles. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 103.

R. Åkerman, On hardening iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1879, II.

A. Martens, Ueber das Härten des Stahles. Centralzeitung für Optik und Mechanik 1883.

Versuche mit Platten aus Schweisseisen und aus Flusseisen. „Stahl Eisen" 1882, S. 137.

Ed. Richards, Ueber gewisse Eigenschaften des weichen Stahles. Glasers Annalen Bd. X, S. 271.

L. Tetmajer, Bericht über die vergleichende Werthbestimmung einer Reihe deutscher Normalprofile in Flusseisen und Schweisseisen. Zürich 1885.

Ueber die zulässige Inanspruchnahme der Eisenconstructionen. „Stahl und Eisen" 1889, S. 303, 390.

Ergebnisse der Untersuchungen von Kesselblechen aus Flusseisen und Schweisseisen. Mittheilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1889, Heft 3.

Vergleichende Untersuchungen von Kesselblechen aus Thomas-, Martin- und Schweisseisen. „Stahl und Eisen" 1890, S. 526.

L. Tetmajer, Das basische Convertereisen als Baumaterial. „Stahl und Eisen" 1890, S. 1047.

Mehrtens, Ueber die beim Bau von Eisenbahnbrücken mit der Verwendung von Flusseisen gemachten Erfahrungen. „Stahl und Eisen" 1891, S. 707.

R. Krohn, Verwendung des Flusseisens im Brückenbau. „Stahl und Eisen" 1891, S. 804.

A. Martens, Ueber die Verwendbarkeit des Flusseisens als Constructionsmaterial. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1892, S. 172.

F. Kintzlé, Die Verwendung des Flusseisens zu Bauzwecken. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1892, S. 81; „Stahl und Eisen" 1892, S. 279.

A. Ledebur, Ueber den Einfluss eines Siliciumgehaltes auf schmiedbares Eisen. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 1000.

H. Wedding, Der Einfluss des Mangans auf die Festigkeit des Eisens. Verh. d. Ver. zur Beförd. d. Gewerbfl. 1881, S. 509; Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXLIII, S. 333.

R. A. Hadfield, On Manganese Steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, p. 41.

J. D. Weeks, Tests of Manganese Steel. Iron, vol. XXVIII, p. 543.

A. Ledebur, Ueber Manganstahl. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 504.

R. A. Hadfield, On Aluminium Steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 161.

R. A. Hadfields Untersuchungen über Eisenchromlegirungen. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 14.

A. Ledebur, Ueber den Phosphorgehalt des schmiedbaren Eisens. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 513.

J. Bauschinger, Veränderungen der Elastizitätsgrenze und Festigkeit des Eisens und Stahles durch Strecken und Quetschen, Erwärmen und Abkühlen und oftmals wiederholte Beanspruchung. Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der technischen Hochschule zu München, Heft 13.

Festigkeit heiss und kalt bearbeiteten Eisens. Sitzungsberichte d. Ver. zur Beförd. d. Gewerbfl. 1889, S. 92.

A. Sattmann, Ueber die Veränderungen der Eigenschaften des Flusseisens, welche durch physikalische Ursachen bedingt sind. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 266; 1892, S. 550.

L. Tetmajer, Einfluss der Lochung auf die Festigkeitsverhältnisse des Schweisseisens. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 173.

Ueber einige Ergebnisse bei der Prüfung von Augenstäben amerikanischer Eisenbahnbrücken. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 194.

M. Rudeloff, Ueber den Einfluss des Ausglühens auf die physikalischen Eigenschaften von Eisen- und Stahldrähten. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 63.

Untersuchungen über Festigkeitsänderungen durch Ausglühen und Anlassen weichen Stahles. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1887, S. 51.

Ueber das Strecken von Eisen und Stahl auf kaltem Wege. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 91, 177.

A. Ledebur, Ueber die Beizbrüchigkeit des Eisens. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 681; 1889, S. 745.

Bädecker, Versuche über das Verbeizen von Stahl- und Eisendraht. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, S. 186.

F. Krause, Ueber die Veränderung der Zugfestigkeit und Dehnbarkeit von Stahl und Eisen bei gewissen Erwärmungsgraden. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1886, S. 137.

J. Bauschinger, Das Krystallinischwerden und die Festigkeitsverminderung des Eisens durch den Gebrauch. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXXV, S. 169.

F. Gautier, Ueber die Festigkeit des Eisens und Stahles bei Temperaturen unter Null Grad. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXVII, S. 288.

G. Pisati und G. Saporito-Ricca, Festigkeit des Eisens bei verschiedenen Temperaturen. Beiblätter zu Poggendorfs Annalen der Physik und Chemie, Bd. I (1877), S. 305.

J. Kollmann, Ueber die Festigkeit des erhitzten Eisens. Verh. d. Ver. zur Beförd. d. Gewerbfl. 1880, S. 92.

M. Möller und R. Lühmann, Ueber die Widerstandsfähigkeit eiserner Constructionstheile bei erhöhter Temperatur. Verh. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1887, S. 73.

A. Martens, Ueber das Verhalten von Eisen und Eisenconstructionen im Feuer. „Stahl und Eisen" 1888, S. 76.

Untersuchungen über den Einfluss der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens. Verh. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1891, S. 165.

Le Chatelier, Festigkeit und Dehnbarkeit des Eisens bei verschiedenen Temperaturen. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 610 (aus Comptes rendus, vol. CIX).

M. Rudeloff, Neuere Untersuchungen über den Einfluss höherer Wärmegrade auf die Eigenschaften von Stahl und Eisen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1891, S. 388.

Eisen und Stahl bei höheren Temperaturen. „Stahl und Eisen" 1890, S. 708.

Untersuchungen über den Einfluss der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens. „Stahl und Eisen" 1890, S. 843.

Verhalten verschiedener Eisensorten bei abnorm niedriger Temperatur. „Stahl und Eisen" 1891, S. 1031.

A. Vavra, Zur Frostbrüchigkeit des weichen Thomaseisens. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1892, S. 139.

Mehrtens, Kältebiegeversuche mit Flusseisen. „Stahl und Eisen" 1892, S. 196 und 220.

Köpke und Hartig, Das Verhalten von Flusseisen in grosser Kälte. Civilingenieur Heft 3; daraus „Stahl und Eisen" 1892, S. 599.

A. Ledebur, Das Verbrennen des Eisens und Stahles. Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1883, S. 19.

A. Martens, Eisen und Stahl. Erweiterter Sonderabdruck aus der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure. Berlin 1882.

J. Bauschinger, Ueber Einrichtungen und Ziele von Prüfungsanstalten für Baumaterialien, insbesondere für Eisen und Stahl. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1879, S. 50.

M. Rudeloff, Ueber Festigkeitsprobirmaschinen. „Stahl und Eisen" 1888, S. 809; 1891, S. 467. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1891, S. 1374.

E. Hartig, Ueber die Constanten der Zerreissungsfestigkeit und deren vergleichende Anwendung für verschiedene Materialien. Civilingenieur 1884, S. 94.

Brauns, Ueber Qualitätsuntersuchungen von Eisen und Stahl und Anstellung von Zerreissproben. „Stahl und Eisen" 1883, S. 3.

II. Die Maschinen für die mechanische Veredelung und Formgebung.

Das aus dem Erzeugungsverfahren hervorgehende schmiedbare Eisen bedarf in den allermeisten Fällen, um als Handelswaare dienen zu können, einer mechanischen Bearbeitung, sowohl zum Zwecke seiner Veredelung als einer bestimmten Formgebung.

Alles Schweisseisen ist, wie mehrfach hervorgehoben wurde, von Schlacke durchsetzt, und, sofern man nicht etwa durch ein Schmelzverfahren das Schweisseisen in Flusseisen umwandelt, lässt sich ein Theil dieser Schlacke nur entfernen, indem man das Eisen im schweisswarmen, stark erweichten Zustande, d. h. in einer Temperatur, in welcher die Schlacke vollständig flüssig wird, einem starken Drucke oder

öfters wiederholten Schlägen unterwirft. Flusseisen enthält gewöhnlich Hohlräume im Innern, theils durch entwickelte Gase erzeugt, theils infolge der Schwindung entstanden, welche bei der Bearbeitung zusammengedrückt werden und alsdann das Verhalten des Eisens minder nachtheilig beeinflussen als zuvor [1]); dass auch das Gefüge des Flusseisens bei der Bearbeitung sich wesentlich ändert und hierdurch die Festigkeitseigenschaften vortheilhaft beeinflusst werden, ist schon früher erwähnt worden.

Diese Bearbeitung des Eisens zum Zwecke seiner Veredelung ist nothwendigerweise mit einer Formveränderung verbunden. Man leitet daher die Bearbeitung in solcher Weise, dass die Endform des Erzeugnisses zugleich seiner in's Auge gefassten späteren Verwendung entspricht und es befähigt, als Handelswaare zu dienen (Stangeneisen von bestimmten Querschnitten, Bleche u. a.).

Eine Bearbeitung des dargestellten Eisens zu dem besprochenen Zwecke durch Handarbeit — etwa durch Ausschmieden mit dem Handhammer — würde nur dann die Erreichung eines Erfolges ermöglichen, wenn das Eisenstück selbst nicht gross und der Umfang der gesammten Eisenerzeugung beschränkt wäre. Solche Handarbeit für die Verdichtung und Formgebung finden wir in den Anfängen der Eisendarstellung, sowohl im Alterthum bei allen eisenerzeugenden Völkern, als noch jetzt in entlegenen Gegenden. Bei allen Kulturvölkern dagegen ist jene einfache Handarbeit längst durch Maschinenarbeit ersetzt, und der jetzige Eisenhüttenbetrieb verdankt zum nicht geringen Theile seine gewaltigen Leistungen der vervollkommneten Einrichtung der für die Veredelung und Formgebung des schmiedbaren Eisens benutzten Maschinen.

I. Die Hämmer.

Unter allen formgebenden Geräthen bei der Darstellung schmiedbaren Eisens sind die Hämmer die ältesten. Aus dem mit der Hand geschwungenen Steine (Fig. 19 auf Seite 125) entstand der bei Kulturvölkern seit Jahrtausenden benutzte, von Hand geführte Schmiedehammer, und aus diesem entwickelte sich, nachdem die Anwendung der Wasserkraft beim Hüttenwesen Eingang gefunden hatte, die ältere Form des Maschinenhammers, dessen Stiel, an dem hinteren Ende um Zapfen schwingend, durch Hebedaumen emporgehoben wird.

Die Wirkung des Hammers bei der Verdichtung und Formgebung des schmiedbaren Eisens beruht auf der Ausübung zahlreicher, rasch auf einander folgender Schläge. Die theoretische Wirkung eines Schlages lässt sich, wenn M die Masse [2]) des niederfallenden Hammers, v seine

1) Eine vollständige Beseitigung der Hohlräume durch Zusammenschweissen ist durch die Bearbeitung nicht oder nur in Ausnahmefällen zu erreichen. Ihre Wände legen sich zwar dicht auf einander, und auf der Bruchfläche des bearbeiteten Eisenstückes ist ihre Anwesenheit ohne Weiteres nicht mehr erkennbar, aber bei der Aetzprobe (Seite 705) werden sie auf's neue sichtbar, ein Beweis, dass immerhin eine unganze Stelle vorhanden war, wo früher der Hohlraum sich befunden hatte.

2) $\text{Masse} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Fallbeschleunigung}} = \frac{G}{g}$.

Endgeschwindigkeit bezeichnet, durch die Formel $\frac{Mv^2}{2}$ ausdrücken. Irrig würde es jedoch sein, hieraus zu folgern, dass für eine vorgeschriebene Leistung des Hammers es gleichgültig sein müsse, ob das Gewicht des Hammers gross und die Endgeschwindigkeit klein sei oder umgekehrt, sofern nur die Grösse $\frac{Mv^2}{2}$ das vorgeschriebene Maass erreiche. Mit der Grösse des zu bearbeitenden Eisenstückes und mit seiner Härte muss auch das Gewicht des für die Bearbeitung bestimmten Hammers zunehmen.

Verschiedene Umstände liefern die Erklärung für diese Thatsache.

Zunächst kommt hier in Betracht, dass die Endgeschwindigkeit v sich überhaupt nicht gut über ein gewisses Maass steigern lässt ohne Gefahr für die Haltbarkeit der bewegten Theile. Hieraus folgt von vornherein die Nothwendigkeit, für die Erzeugung jener stärkeren Schlagwirkungen, welche die Bearbeitung schwererer Eisenstücke erheischt, auch schwerere Hämmer zur Anwendung zu bringen.

Je grösser aber die Geschwindigkeit eines ausgeübten Schlages ist, je kürzer also die Spanne Zeit, innerhalb deren die mechanische Einwirkung überhaupt stattfindet, desto weniger Zeit finden die zunächst getroffenen Theilchen am Umfange des Arbeitsstückes, jene Einwirkung fortzupflanzen, desto weniger werden die inneren Theile davon betroffen. Der Erfolg eines Schlages von bestimmter theoretischer Schlagwirkung beschränkt sich demnach um so mehr auf die Erzielung einer äusseren Formveränderung und beeinflusst um so weniger die inneren Theile, je grösser seine Endgeschwindigkeit ist. Soll daher eine Veredelung eines Eisenstückes in der oben angedeuteten Weise (Auspressen von Schlacke, Verdichtung von Hohlräumen, Aenderung des Gefüges) durch Schmieden stattfinden, so muss nicht allein die Schlagwirkung an und für sich, sondern auch das Gewicht des Hammers im Verhältnisse zu der Grösse des Arbeitsstückes stehen.

Diese Umstände erklären es, dass das Gewicht der im Eisenhüttenbetriebe benutzten Hämmer immer mehr gesteigert wurde, je mehr die Abmessungen der Eisenblöcke zunahmen, welche durch sie bearbeitet werden sollten, und dass die schwersten Hämmer, welche überhaupt gebaut wurden, für die Bearbeitung des Flussstahles (Tiegelstahles, Bessemerstahles, Martinstahles) bestimmt sind, welcher in erheblich grösseren Blöcken als Schweissstahl und Schweisseisen zur Verarbeitung gelangt und auch in der Schmiedetemperatur härter ist als Schweissstahl.

Jeder Hammer wird durch den Ambos ergänzt, welcher als Unterlage für das in Verarbeitung befindliche Schmiedestück dient.

Die beiden einander zugekehrten Flächen des Hammers und Ambos, von denen das Schmiedestück berührt wird, nennt man die Hammer- und Ambosbahn.

Der Ambos ruht auf dem Hammerstocke oder der Schabotte, dazu bestimmt, die überschüssig geleistete, d. h. nicht zu einer Formveränderung des Arbeitsstückes verbrauchte, Schlagwirkung aufzunehmen und dadurch allzu beträchtliche Erschütterungen der Umgebung des Hammers zu vermeiden. Es ist leicht zu ermessen, dass dieser Zweck um so vollständiger erfüllt wird, je grösser das Gewicht dieser Unter-

lage des Ambos ist. Allen grösseren Hämmern giebt man daher gusseiserne Schabotten, deren Gewicht mit dem Gewichte des Hammers zunimmt und oft in's Ungeheure steigt. v. Hauer giebt für die Bemessung dieses Schabottengewichtes (insbesondere bei Dampfhämmern) die Formel

für weiches Eisen . . $Q = 2\,G\,\frac{v^2}{g}$ bis $2{,}5\,G\,\frac{v^2}{g}$,

„ Stahl $Q = 3\,G\,\frac{v^2}{g}$ bis $4\,G\,\frac{v^2}{g}$,

worin Q das Schabottengewicht in Kilogrammen,
„ G „ Hammergewicht „ „
„ v die Endgeschwindigkeit in Metern,
„ g „ Fallbeschleunigung (9,810 m) bezeichnet.

Für den Guss der Schabotten zu schweren Hämmern, welche, sofern es angeht, in einem einzigen oder doch in wenigen grösseren Stücken gegossen werden, ist gewöhnlich die Aufstellung ganz besonderer Schmelzöfen an Ort und Stelle erforderlich, da eine Beförderung dieser Ungeheuer nicht möglich sein würde. Die Art und Weise der Anordnung der Schabotte ergiebt sich aus den unten mitgetheilten Beispielen einzelner Hämmer.

Durch Anbringung einer elastischen Unterlage aus Holz für die Schabotte pflegt man die Erreichung des bei ihrer Anordnung angestrebten Zieles — die Vermeidung starker Erschütterungen — zu erleichtern.

Minder schwere Hämmer (Stielhämmer) pflegen statt der gusseisernen Schabotte nur einen senkrecht in den Erdboden eingelassenen Holzstamm als Unterlage für den Ambos zu erhalten.

Der Betrieb der in den Eisenhütten gebräuchlichen Hämmer pflegt durch unmittelbare Uebertragung von einem Wasserrade (Wasserhämmer oder Stielhämmer) oder einer Dampfmaschine aus (Dampfhämmer) zu geschehen. Unter den ziemlich mannigfaltigen Hammerformen, welche die Neuzeit geschaffen hat und welche zum Theil lediglich für die Formgebung kleinerer Schmiedestücke bestimmt sind, kommen für die Darstellung des Eisens vorwiegend die nachstehend beschriebenen in Betracht.

a) Stirnhämmer.

Sie sind selten und nur zum Zängen (Auspressen von Schlacke) der Schweisseisenluppen auf solchen Eisenwerken in Benutzung, welche reichliche Wasserkraft besitzen und nicht Ursache haben, sparsam damit umzugehen.

Fig. 181 zeigt die Einrichtung eines solchen Stirnhammers.[1]) Der Hammer *B* ist mit dem Stiel zusammen in einem Stücke aus Gusseisen gefertigt und hat die Form eines liegenden **T**, dessen beide Arme die Schwingungsachse bilden und mit Zapfen in Lagern *A* ruhen. In dem Kopfe des Hammers ist der als besonderes Stück aus hartem Gusseisen oder Stahl gefertigte und zum Auswechseln eingerichtete „Pellert“ *b*,

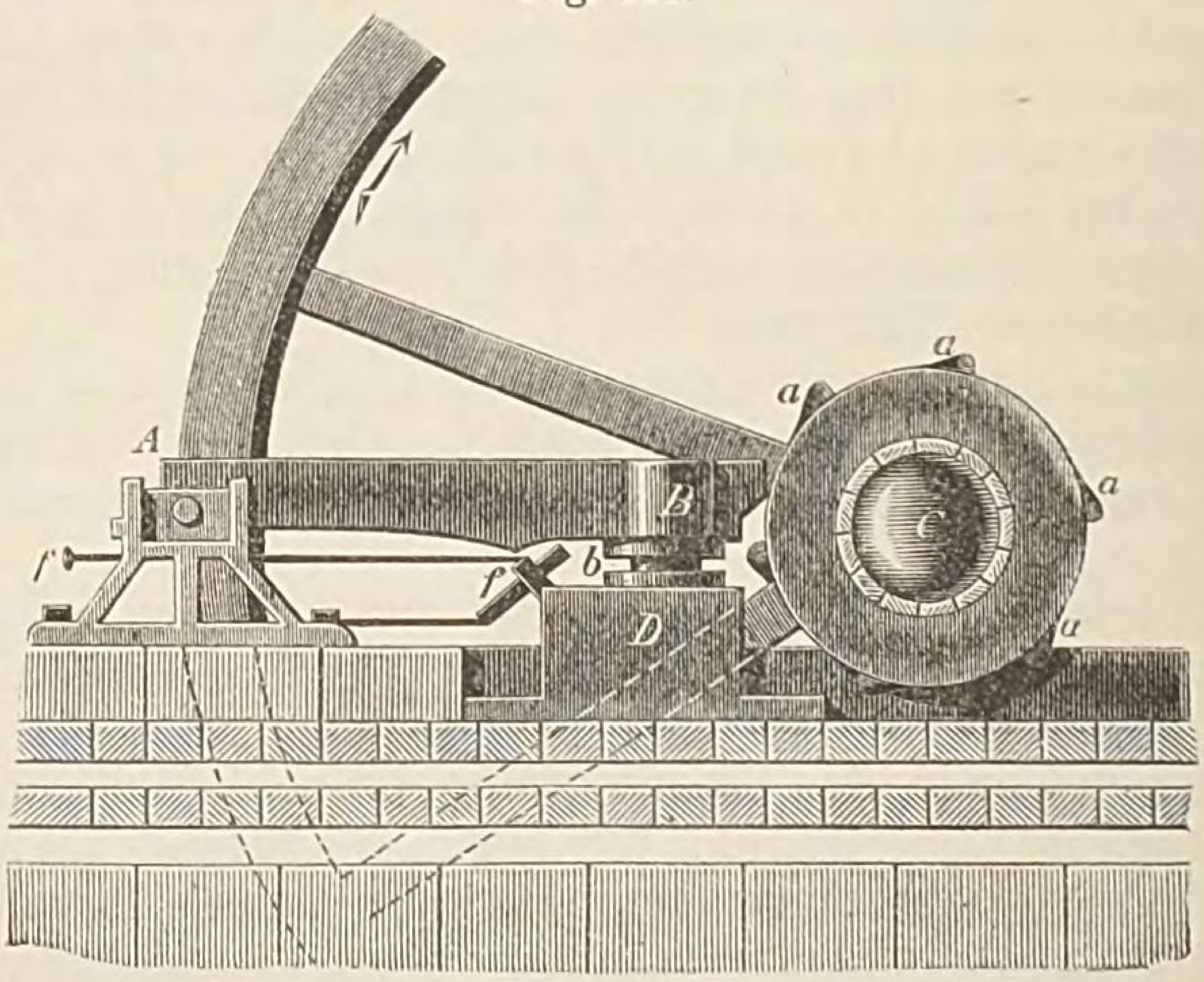
1) Aus Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde.

d. h. ein mit der Hammerbahn versehenes Einsatzstück, mit durchgehendem Zapfen und Holzkeilen befestigt; darunter befindet sich die Schabotte *D* auf einem aus starken Eichenschwellen hergestellten Unterbau.

Vor dem Kopfe des Hammers liegt, parallel zu seiner Schwingungsachse, die Daumentrommel *a*, von einem Wasserrade mit Schwungrad und Bremsvorrichtung aus angetrieben. Die Vorrichtung *f* an der Rückseite der Schabotte dient zum Auffangen des Hammers, sobald die Arbeit beendigt ist. Da, wo die Hebedaumen den Kopf des Hammers ergreifen, ist er mit einer eingesetzten und zum Auswechseln bestimmten Stahlplatte, der Streichbahn, versehen.

Man giebt solchen Stirnhämmern ein Gewicht 2,5—8 Tonnen (einschliesslich des Stieles und der Arme), eine Hubhöhe von 0,3—0,6 m und 50—100 Schläge in der Minute.

Fig. 181.



Da ein grosser Theil des Hammergewichtes auf den Stiel und die Arme sich vertheilt, ist die Ausnutzung dieses Gewichtes ungünstig, d. h. für Erzielung einer bestimmten Schlagstärke ist ein verhältnissmässig bedeutendes Gewicht erforderlich, und die Anlage wird dadurch kostspielig. Ein fernerer, nicht zu unterschätzender Nachtheil des Stirnhammers liegt in dem Umstande, dass er nur von einer einzigen Seite aus zugänglich ist, wodurch die Handhabung der Schmiedestücke erschwert wird.

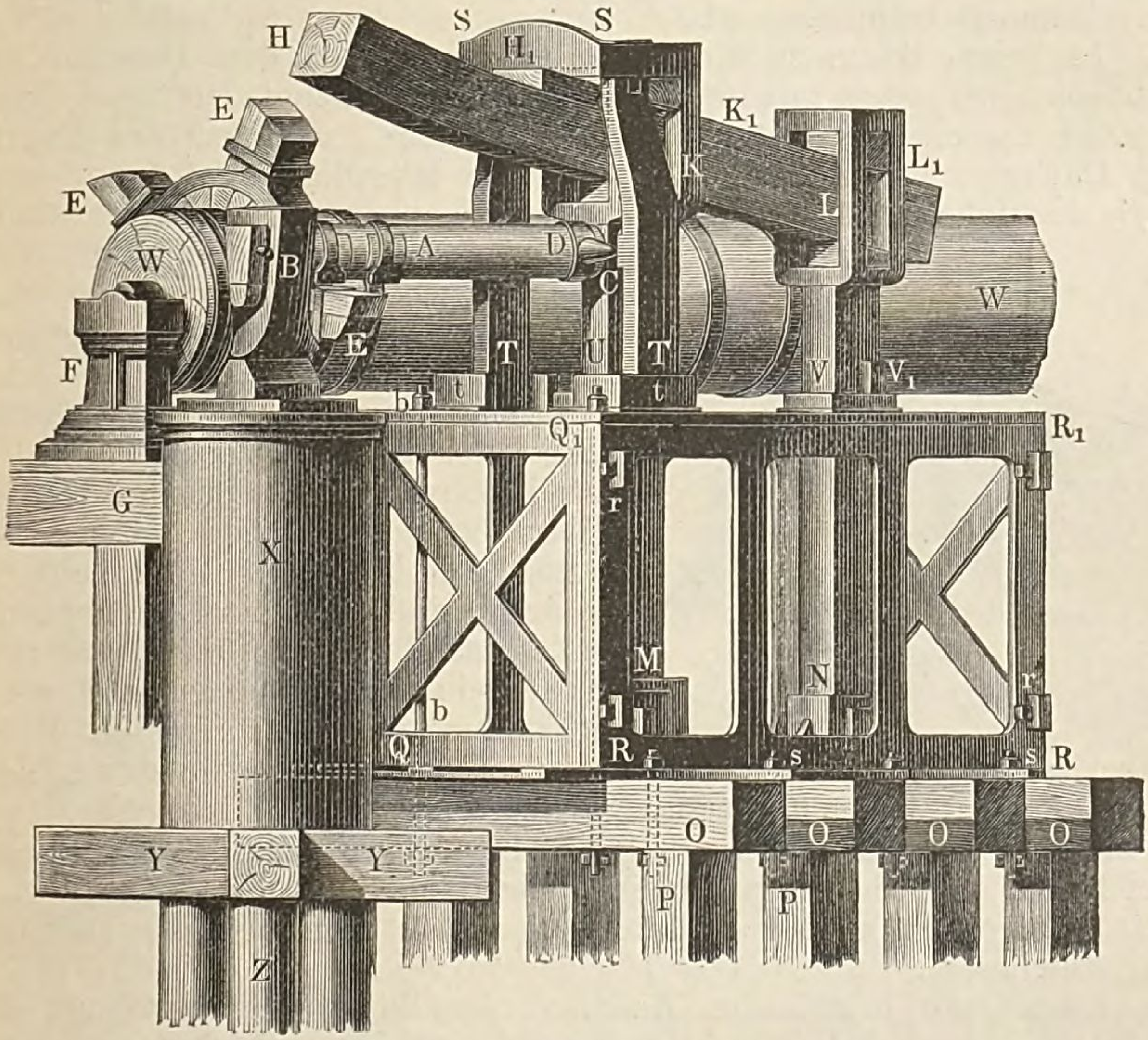
b) Aufwerfhämmer.

Auch diese Hämmer, welche bis zur Mitte dieses Jahrhunderts sowohl zum Zängen der Schweisseisenluppen als zum späteren Ausschmieden, zumal in Frischfeuerhütten, ziemlich häufige Benutzung fanden, wo Wasserkraft zur Verfügung stand, sind jetzt seltener geworden, seitdem der Frischfeuerbetrieb in zahlreichen Gegenden, wo er früher eine Rolle spielte, vollständig erloschen ist. Man bedient sich ihrer noch heute, wo Frischfeuer betrieben werden; auch kleinere

Stahlhütten, welche im Besitze einer Wasserkraft sind, verwenden mitunter Aufwerfhämmer zum Schmieden von Werkzeugstahl und ähnlichen Erzeugnissen.

Der Stiel des Aufwerfhammers ist aus zähem Holze gefertigt, der Kopf wird geschmiedet (mit verstählter Bahn) oder aus Stahl gegossen. Durch die Anwendung eines hölzernen Stieles wird der Schwerpunkt der bewegten Theile in den Kopf oder nahe daran verlegt, und die Ausnutzung des Gewichtes ist günstiger als bei den Stirnhämmern. Die Daumentrommel liegt zur Seite des Hammers, und ihre Achse ist

Fig. 182.



parallel zum Stiele gerichtet; die Daumen erfassen den Stiel zwischen dem Kopfe und den Drehungszapfen.

Ein in den vierziger Jahren dieses Jahrhunderts gebauter Aufwerfhammer ist in Fig. 182 abgebildet.[1]) Wesentliche Aenderungen hat seit jener Zeit die Einrichtung der Aufwerfhämmer nicht erfahren.

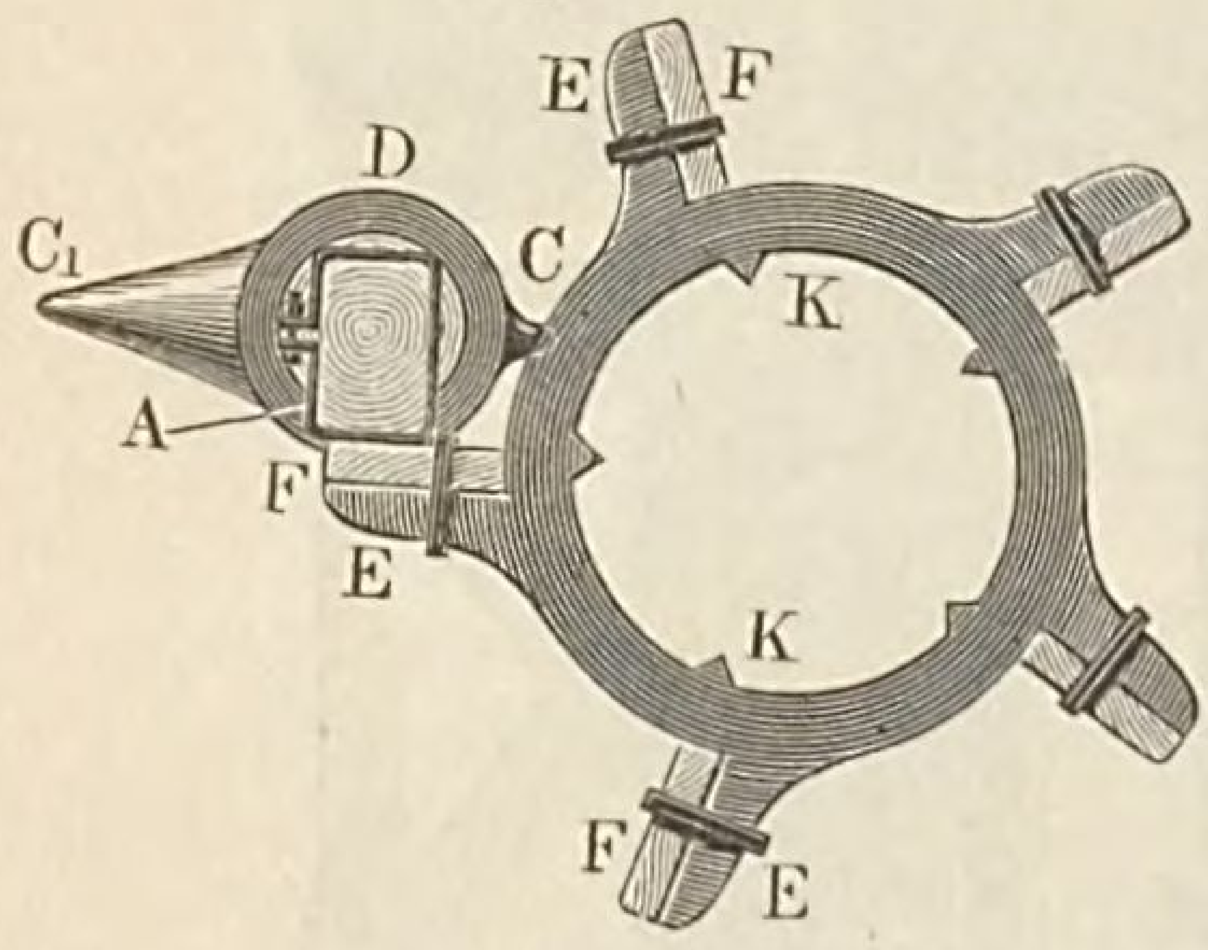
B ist der Hammerkopf, durch Holzkeile an dem Stiele oder Helme *A* befestigt. Das hintere Ende des Helmes steckt in einem mit zwei angegossenen Zapfen versehenen Gusseisenringe, der Hülse *D*; diese ruht mit ihren Zapfen, deren Mittellinie die Schwingungsachse des Hammers bildet, in Büchsen, d. i. Lagern, welche in den

1) Nach J. Weisbach, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik.

Büchsensäulen TT befestigt sind. Die Daumenwelle W pflegt aus Holz gefertigt zu sein und dient häufig zugleich als Wasserradwelle, so dass das Wasserrad unmittelbar auf ihrem Ende befestigt ist. Der gusseiserne Ring K mit den Daumen EE (Fig. 183) wird mit Keilen auf der Welle an der Stelle befestigt, wo der Angriff erfolgen soll, und der Hammerhelm wird da, wo er von den Daumen erfasst wird, durch ein umgelegtes eisernes Band vor rascher Abnutzung geschützt. Die gusseisernen Daumen aber versieht man an derjenigen Seite, mit welcher sie den Hammerhelm berühren, zum ferneren Schutze des letzteren mit einem angelegten Holzstücke F in Fig. 183 (Frosch genannt), welches durch ein übergeschobenes Schmiedeeisenband mit dem Daumen verbunden wird.

In jedem Hammer wird nun, sobald er von dem Daumen angehoben wird, eine gewisse lebendige Kraft erzeugt, vermöge deren er noch um ein bestimmtes Maass emporsteigt, nachdem der Angriff des Daumens bereits aufgehört hat; die lebendige Kraft und somit auch die Höhe, zu welcher der Hammer emporgeworfen wird, wächst mit der Anfangsgeschwindigkeit, d. h. mit der Geschwindigkeit der angreifenden Daumen. Zur Hervorbringung starker Schläge bei gegebenem Gewichte ist mithin eine grosse Umlaufsgeschwindigkeit der Daumentrommel erforderlich; je schwächer die Schläge werden sollen, desto langsamer müssen die Daumen sich bewegen. Mit zunehmender Geschwindigkeit der Daumen muss die Zeitdauer sich verkürzen, während welcher ein neuer Daumen in die Angriffsstellung einrückt; geschieht dieses früher, als der Hammer wieder niedergefallen ist, so wird er von dem nachfolgenden Daumen gefangen, und der Schlag findet überhaupt nicht statt. Durch Verringerung der Daumenzahl würde zwar dieser Uebelstand sich beseitigen lassen; aber die Zahl der in gegebener Zeit erfolgenden Schläge würde dadurch in demselben Verhältnisse sich verringern.

Fig. 183.



Lässt man jedoch den Hammer nicht bis zu seiner vollen, der Anfangsgeschwindigkeit entsprechenden Hubhöhe aufsteigen, sondern, bald nachdem er den Daumen verlassen hat, gegen einen elastischen Körper schlagen, welcher ihn in die Anfangsstellung zurückwirft, so wird er mit annähernd der gleichen Endgeschwindigkeit niederfallen, und die Wirkung des Schlages wird annähernd ebenso gross sein, als wenn er frei aufgestiegen wäre; aber die Zeitdauer des Hubes ist entsprechend abgekürzt, und man erhält auf diese Weise die Möglichkeit, auch bei grosser Endgeschwindigkeit zahlreiche Schläge auszuführen. Eine derartige Vorrichtung zur Unterbrechung des Hubes bei raschem Gange des Hammers nennt man die P r e l l u n g. Aus je elastischerem Materiale sie gefertigt wurde, desto vollständiger wird sie ihren Zweck erfüllen.

Bei dem Aufwerfhammer dient ein Balken H aus elastischem

Holze, den man Reitel nennt, als Prellung. Er ist in der Mitte in der Reitelsäule K, am Ende in der Hintersäule L befestigt und ragt mit dem vorderen Ende, gegen welches der Hammerhelm schlägt, frei aus der Reitelsäule heraus.

Nun wird ein jeder Daumen um so länger mit dem Hammerhelme in Berührung bleiben, je schwächer die Krümmung, d. h. je grösser der Durchmesser des Kreises ist, in welchem der Daumen sich bewegt. Mit dem Durchmesser des Daumenkreises wächst also auch die erforderliche wirkliche Hubhöhe des Hammers bis zum Reitel; je grösser diese Höhe ist, desto weniger Schläge kann der Hammer ausführen, ohne von den Daumen gefangen zu werden. Ein möglichst kleiner Durchmesser des Daumenkreises begünstigt also die Erzielung einer grossen Hubzahl; dieser kleine Durchmesser ist nur möglich, wenn die Daumenwelle dicht neben dem Hammer liegt. Aus diesem Grunde pflegt man den Zapfen der oben erwähnten Hammerhülse ungleiche Längen zu geben. Den Zapfen C (Fig. 183) an der Seite der Daumenwelle macht man so kurz als möglich, damit die Büchsensäule nicht der Welle im Wege sei; der entgegengesetzte Zapfen C_1 ist länger, damit das Ganze zugänglicher bleibe. Hieraus entsteht dann die ungleichartige Form der beiden Büchsensäulen (Fig. 182).

Damit nicht das Ganze durch die starken Erschütterungen, welche der Reitel zu erleiden hat, seinen Zusammenhalt verliere, ist eine sorgfältige Unterstützung aller Theile erforderlich. Ein aus durchbrochenen Gusseisenplatten gebildeter, mit Erdreich gefüllter Kasten QRQ_1R_1, welcher auf einer Holzunterlage OP ruht, dient als Unterbau; die Reitelsäule und die Hintersäule, welche durch die Erschütterungen der Hammerschläge vorzugsweise beansprucht werden, gehen durch die Deckplatte des Kastens hindurch und sind in der Sohlplatte bei M und N verkeilt; die Büchsensäulen stehen in Schuhen t, welche auf der Deckplatte angegossen sind, und werden am oberen Ende durch eine Kopfplatte S zusammengehalten, welche an die Reitelsäule angegossen ist.

Der gusseiserne oder aus Stahl gegossene Ambos ist, unabhängig von dem Hammerwerke, in einem eichenen Hammerstocke X befestigt, welcher unten auf hölzernen Schwellen YZ aufruht.

Die Aufwerfhämmer werden mit einem Gewichte des Hammerkopfes von 150—500 kg bei 0,5—0,8 m Hubhöhe und 80—150 Schlägen in der Minute gebaut. Sie sind beim Schmieden besser zugänglich als Stirnhämmer, und die Ausnutzung des Fallgewichtes ist, wie erwähnt, günstiger. Eine Steigerung ihrer Leistung durch Anwendung eines noch grösseren Fallgewichtes würde jedoch schon in Rücksicht auf den hölzernen Stiel, welcher alsdann sehr häufigen Brüchen ausgesetzt sein würde, nicht möglich sein.

c) Schwanzhämmer.

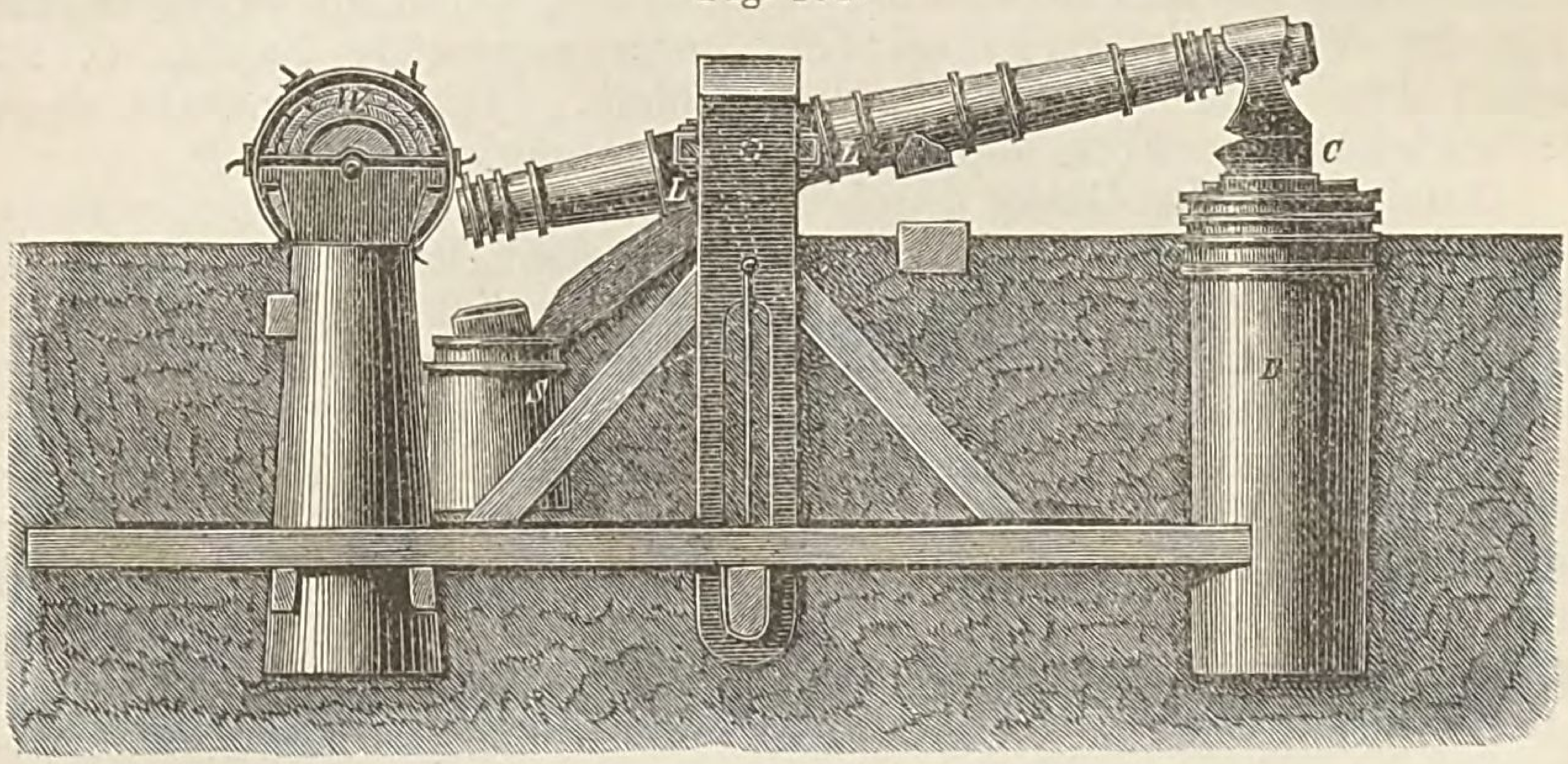
In seiner Wirkungsweise und Anwendbarkeit dem Aufwerfhammer ähnlich unterscheidet sich der Schwanzhammer von diesem vornehmlich dadurch, dass die Daumen am Ende des Stieles angreifen, dessen Schwingungsachse zwischen dem Kopfe und dem Angriffspunkte der Daumen sich befindet. Die Daumenwelle liegt demnach nicht neben

dem Hammerstiele, wie beim Aufwerfhammer, sondern dahinter, rechtwinklig dagegen gerichtet.

In Fig. 184 ist die allgemeine Anordnung eines Schwanzhammers dargestellt. *W* ist die Daumentrommel, *L* der durch umgelegte Eisenbänder verstärkte „Schwanz“ des Hammers, *C* der Ambos auf dem in gleicher Weise wie beim Aufwerfhammer eingerichteten Hammerstocke *D*. Zur Abkürzung der Hubzeit ist auch hier eine Prellung eingerichtet, bestehend in einem eisernen Klotze, welcher in dem hölzernen Reitel- oder Prellstocke *S* befestigt ist und auf welchen der Hammerhelm mit seinem Ende aufschlägt.

In seiner äusseren Form dem Aufwerfhammer ähnlich, besitzt der Schwanzhammer vor diesem verschiedene Vorzüge. Durch die Verlegung der Prellung in den Erdboden ist die ganze Einrichtung des Hammergerüstes einfacher und beschränkt sich auf die Anordnung zweier hölzerner oder eiserner Büchsensäulen, welche oben und unten

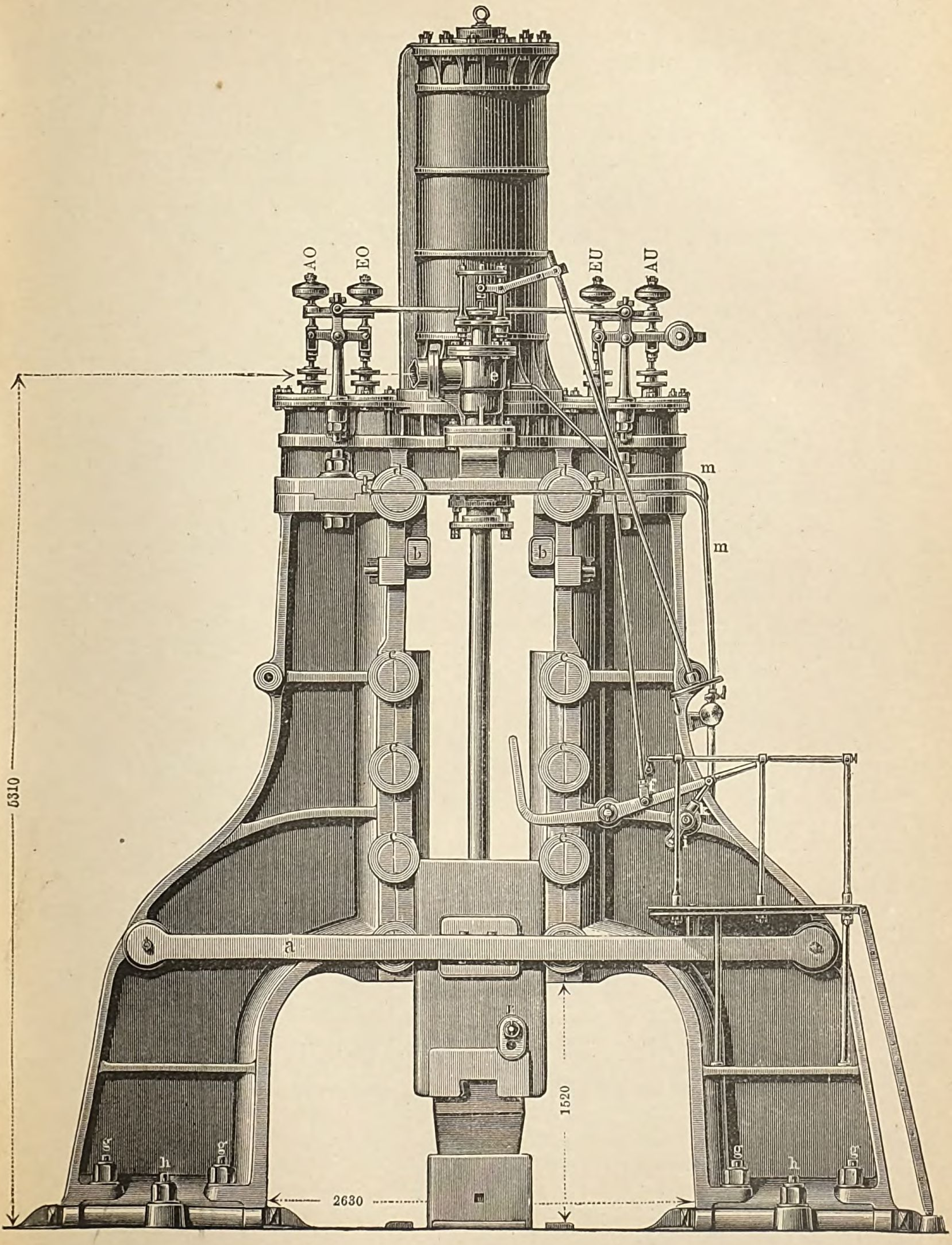
Fig. 184.



verbunden sind und von Längshölzern getragen werden, die auch den Prellklotz stützen. Die Lage der Daumenwelle hinter dem Hammer gewährt die Möglichkeit, ihr einen kleineren Durchmesser als beim Aufwerfhammer zu geben; wie aber oben erörtert wurde, kann bei dem kleineren Durchmesser auch die wirkliche Hubhöhe geringer, die Anzahl der Daumen (oder ihre Umfangsgeschwindigkeit) grösser sein. Man ist hierdurch im Stande, einen Schwanzhammer zahlreichere Hübe als einen Stirnhammer ausführen zu lassen. Endlich kommt in Betracht, dass der Raum an der einen Seite des Hammers nicht, wie beim Aufwerfhammer, durch die Daumenwelle in Anspruch genommen ist; der Ambos ist von drei Seiten zugänglich.

Diese Vorzüge des Schwanzhammers, insbesondere die grosse erreichbare Hubzahl und die Leichtzugänglichkeit, machen es im Vereine mit der verhältnissmässigen Billigkeit der Anlage erklärlich, dass man selbst da, wo Dampf als Betriebskraft dient, mitunter einen kleinen Schwanzhammer an Stelle kostspieligerer Einrichtungen verwendet, indem man ihn unmittelbar von der Dampfmaschine oder auch von einer Triebwelle aus antreiben lässt. Wie beim Aufwerfhammer ist

Fig. 185.



aber die Grösse des Hammers und die erreichbare Schlagwirkung begrenzt; bei grösseren Schwanzhämmern macht sich im Vergleiche zu den Aufwerfhämmern ein häufigeres Abbrechen des hölzernen Stieles in nachtheiliger Weise bemerkbar.

Je nachdem der Schwanzhammer vorwiegend zum raschen Ausschmieden kleinerer Eisengegenstände oder für die erste Bearbeitung schlackenreicher Schweisseisenluppen bestimmt ist, giebt man ihm ein Gewicht von 50—350 kg; den kleinsten eine Hubzahl, welche bis zu 300 in der Minute gesteigert werden kann bei einer Hubhöhe von mitunter nicht mehr als 150 mm; den grösseren eine Hubzahl bis zu 120 in der Minute bei einer Hubhöhe bis zu 480 mm.

d) Dampfhämmer.

Obschon man als Dampfhammer im allgemeinen Sinne jeden durch Dampfkraft betriebenen Hammer bezeichnen könnte — also z. B. auch einen durch eine Dampfmaschine betriebenen Schwanzhammer —, versteht man doch regelmässig unter jener Benennung einen solchen Hammer, dessen Fallstück, welches man den Bär des Hammers nennt, unmittelbar an der Kolbenstange des darüber angeordneten Dampfcylinders befestigt ist und mit dieser von dem Dampfkolben gehoben wird. Die unten gegebene Abbildung eines Dampfhammers (Fig. 185) veranschaulicht diese Anordnung.

Während bei den bisher besprochenen Hämmern, den Stielhämmern, die Bewegung des Hammerkopfes nach einer Kreisbogenlinie stattfindet, geht sie beim Dampfhammer geradlinig vor sich. Bei den ersteren Hämmern giebt es nur eine einzige Stellung, in welcher die Hammer- und Ambosbahn vollständig parallel zu einander stehen; bei dem Dampfhammer behalten sie ihre gegenseitige Stellung unverändert bei, man mag dickere oder dünnere Stücke darunter bearbeiten.

Grösser ist der Vortheil, welchen die leichtere Regelung der Schlagstärke dem Dampfhammer gewährt. Bei einem Stielhammer lässt sich eine stärkere Schlagwirkung nur durch Beschleunigung des Ganges hervorbringen, durch welchen die theoretische Hubhöhe vergrössert wird (vergl. die Erläuterungen auf Seite 716); arbeitet der Hammer ohne Prellung (Stirnhammer), so tritt hierbei sehr bald die Grenze des Zulässigen ein, damit er nicht von den rascher folgenden Daumen gefangen werde; bei Anwendung einer Prellung wird mit der Schlagstärke auch die Schlagzahl unvermeidlich gesteigert. Nicht immer jedoch ist eine solche gemeinschaftliche Steigerung der Schlagstärke und Schlagzahl wünschenswerth; gerade die schwersten Arbeitsstücke, welche die kräftigsten Schläge erfordern, lassen sich am schwierigsten handhaben, und aus diesem Grunde pflegt ein langsamerer Gang des Hammers für ihre Bearbeitung erforderlich zu sein.

Bei dem Dampfhammer kann man in jedem Stande des Bäres durch Absperrung des Dampfzuflusses den Hub unterbrechen, also mit geringerer und grösserer Hubhöhe arbeiten; man kann den Bär beliebig lange in der Höhe schwebend erhalten, wodurch das erforderliche Drehen und Wenden des Arbeitsstückes vor erfolgendem Schlage erheblich erleichtert wird; man kann endlich auch bei einem schweren

Hammer die Schlagwirkung ganz nach Belieben abmindern, indem man vor dem beendigten Niederfallen wieder frischen Dampf unter den Kolben zutreten lässt. Es ist ein bekanntes Kunststückchen der Führer schwerer Dampfhämmer, eine auf dem Ambos liegende Nuss zu zerknacken, ohne den Kern zu beschädigen.

Diese Vorzüge allein schon genügen, dem Dampfhammer beim Grossbetriebe, wo seine höheren Anlage- und Unterhaltungskosten weniger in Betracht kommen, ein entschiedenes Uebergewicht über jene älteren und einfacheren Stielhämmer zu verleihen. Es kommt noch hinzu, dass die Leistungsfähigkeit (Schlagwirkung) eines Stielhammers aus schon erörterten Gründen über ein gewisses ziemlich beschränktes Maass hinaus nicht gesteigert werden kann, diejenige eines Dampfhammers dagegen durch Vergrösserung der Fallhöhe und des Fallgewichtes in fast unbegrenzter Weise und jedenfalls weit über die Leistung auch des grössten Stielhammers hinaus sich ausdehnen lässt. Dieser Umstand macht den Dampfhammer unentbehrlich, wo sehr schwere Eisenblöcke unter einem Hammer verarbeitet werden sollen.

Folgende Zusammenstellung giebt ein ungefähres Bild von dem Gewichte und der Hubhöhe, welche man Dampfhämmern für verschiedene Zwecke zu geben pflegt.

	Fallgewicht t	Hubhöhe m	Hübe in der Minute
Kleinere Hämmer für Schmiedewerkstätten, sogenannte Schnellhämmer	0,05—0,5	0,15—0,60	200—500
Schmiedehämmer für grössere Gegenstände	0,5 —1,0	0,6 —1,0	100—200
Luppenhämmer zum Zängen in Puddelwerken . . .	1,5 —2,5	1,0 —1,5	80—100
Hämmer zum Schweissen und Verdichten grösserer Eisenstücke, z. B. in Blechwalzwerken	5—10	1,5 —2,5	60—80
Hämmer zum Verdichten und Schmieden mittelgrosser Stahlblöcke	10—20	2—3	60—80
Dergl. für grössere Stahlblöcke bis	150	6	60

Schon James Watt, der Erfinder der Dampfmaschine, nahm im Jahre 1784 ein Patent auf die Einrichtung eines Dampfhammers; aber er erlebte nicht die Ausführung seines Entwurfes. Das Bedürfniss für die Benutzung der Dampfkraft zum Schmieden lag noch nicht vor. Der Bedarf an schmiedbarem Eisen überhaupt war nicht bedeutend; Schmiedestücke von grösseren Abmessungen, wie sie der Maschinenbau der Jetztzeit verlangt, waren nicht erforderlich. Die schon seit lange benutzten Wasserhämmer genügten vollkommen allen Ansprüchen der damaligen Zeit, waren billiger in der Anlage und erforderten nicht den Brennstoffaufwand zur Erzeugung des Dampfes.

Erst sechzig Jahre später, im Jahre 1842, wurden ziemlich gleichzeitig auf zwei weit von einander entlegenen Eisenwerken, dem Eisenwerke Creusot in Frankreich und der Königin-Marienhütte in Sachsen, die ersten beiden Dampfhämmer gebaut, beide nach einem Entwurfe des Ingenieur Nasmyth zu Patricoft bei Manchester.

Inzwischen aber hatte die Lage des Eisenhüttengewerbes sich wesentlich geändert. Der Bedarf an schmiedbarem Eisen war seit Einführung der Eisenbahnen mächtig gestiegen, die Eisenwerke waren bedeutend vergrössert worden, und infolge dieser Vergrösserungen war die Dampfkraft mehr und mehr an die Stelle der früher ausschliesslich benutzten Wasserkraft für den Betrieb der erforderlichen Maschinen getreten. Der mehr und mehr aufblühende Maschinenbau aber stellte auch hinsichtlich der Grösse der aus den Eisenwerken hervorgehenden Schmiedestücke Ansprüche, die nur durch kräftiger wirkende Hämmer als bisher erfüllt werden konnten. So dehnte sich die Anwendung der Dampfhämmer rasch aus, und jedes neue Jahrzehnt brachte Verbesserungen in der Einrichtung derselben.

Bei den verschiedenen Dampfhämmern erfolgt das Niederfallen des Bäres entweder nur infolge der Schwere, nachdem man dem unter dem Kolben befindlichen, zum Anheben benutzten Dampfe Auslass in's Freie verschafft hat, und solche Hämmer heissen *einfach wirkend*; oder man lässt, nachdem umgesteuert wurde, auch frischen Dampf über den Kolben treten, um das Niederfallen zu beschleunigen, die Schlagwirkung zu verstärken, die Hubzeit abzukürzen, und nennt die Hämmer der letzteren Art *doppelt wirkend* oder *Hämmer mit Unter- und Oberdampf*. Je grösser bei einem doppelt wirkenden Hammer die freie Cylinderfläche oberhalb des Dampfkolbens ist, desto grösser ist die Beschleunigung beim Niedergange, desto geringer kann also für eine geforderte theoretische Schlagwirkung das Gewicht des Bäres und die Hubhöhe ausfallen; je geringer aber die Hubhöhe und je grösser die Beschleunigung des Hammerbäres ist, desto zahlreichere Schläge können in derselben Zeit ausgeführt werden. Auf diesen Umständen beruht die Einrichtung der in kleinen Schmiedewerkstätten mit Nutzen verwendeten Schnellhämmer, welche durch verhältnissmässig grossen Cylinderquerschnitt und geringe Hubhöhe befähigt sind, oft bis zu 400 Schläge in der Minute auszuführen. Je kleiner das Arbeitsstück ist, desto rascher kühlt es ab und desto vortheilhafter ist demnach eine grosse Hubzahl.

Dass aber mit der Grösse des zu bearbeitenden Eisenstückes auch das Gewicht des Hammerbäres wachsen müsse, wurde schon oben erörtert; umgekehrt verringert sich mit zunehmender Grösse des Schmiedestückes die Nothwendigkeit einer grossen Hubzahl, da das schwerere Stück nicht nur weniger rasch abkühlt, sondern auch weniger rasch sich in die zum Schmieden erforderliche Lage bringen lässt. Aus diesem Grunde sieht man um so häufiger von der Anwendung des Oberdampfes ab (welche immerhin die Einfachheit der Anordnung beeinträchtigt), je grösser der Hammer ist. Während die Hämmer mit einem Gewichte bis zu 1 t fast ohne Ausnahme, bis zu 20 t meistens mit Oberdampf arbeiten, ist seine Anwendung bei den grössten Hämmern verhältnissmässig selten.

Wie bei jeder anderen Dampfmaschine unterscheidet man bei dem Dampfhammer eine *innere Steuerung*, durch welche der Zu- und Abfluss des Dampfes geregelt wird, und eine *äussere Steuerung*,

bestehend aus Hebeln und Zugstangen, durch welche die innere Steuerung ihre Bewegung erhält.

Für die innere Steuerung benutzt man bei kleinen Hämmern am häufigsten Schieber, bei grösseren gewöhnlich entlastete Ventile.

Die äussere Steuerung ist bei allen Schnellhämmern selbstthätig, so dass der Hammer ununterbrochen fortarbeitet, sobald er einmal in Betrieb gesetzt ist; aber in jedem Falle kann durch eine Verstellung der Steuerung von Hand in jedem Augenblicke der Hub abgekürzt und beim Niederfallen vorzeitig frischer Unterdampf zugeleitet, die Schlagstärke also beliebig geregelt werden.

Für grosse Hämmer, deren Hubzeit länger ist, bei denen also der Hammerwärter vollauf Zeit hat, die Umsteuerung zu bewirken, verliert die selbstthätige Steuerung an Werth. Man begnügt sich hier gewöhnlich, in dem höchsten zulässigen Stande des Hammerbäres eine selbstthätig wirkende Hubbegrenzung einzuführen, durch welche einer Beschädigung des Dampfcylinders vorgebeugt wird.

Zur besseren Veranschaulichung der allgemeinen Anordnung eines Dampfhammers, deren eingehendere Besprechung in das Gebiet der Maschinenlehre gehört, möge die in Fig. 185 gegebene Abbildung eines in den achtziger Jahren von der Firma G. Brinkmann & Co. in Witten a. d. Ruhr gebauten doppelt wirkenden Dampfhammers von 5 t Fallgewicht dienen.

In der Abbildung bezeichnet

EU Einlassventil für den Unterdampf,
AU Auslassventil „ „ „
EO Einlassventil für den Oberdampf,
AO Auslassventil „ „ „

Hubbegrenzung findet bei diesem Hammer durch das am Bär befestigte Röllchen *r* statt, welches beim Aufsteigen gegen die Verlängerung des Hebels *f* schlägt, sein linkes Ende empor, sein rechtes Ende abwärts drückend. In der aus der Abbildung ersichtlichen Weise wird hierbei zunächst das Einlassventil für den Unterdampf geschlossen, der Dampf expandirt. Durch eine wagerechte Zugstange stehen die Ventile für den Unterdampf mit denen für den Oberdampf in Verbindung. Bei weiterem Aufsteigen des Bäres wird also das Auslassventil für den Oberdampf geschlossen, der noch eingeschlossene Dampf wird zusammengedrückt; alsdann öffnet sich das Auslassventil für den Unterdampf und schliesslich das Auslassventil für den Oberdampf; der Kolben wird mit beschleunigter Geschwindigkeit abwärts geworfen.

Durch Empordrücken des Hebels *f* an der rechten Seite leitet der Hammerführer einen neuen Hub ein; und durch Umsteuerung von Hand kann er leicht den Hub unterbrechen, ehe selbstthätige Umsteuerung eintritt.

Ebenso kann man, da das Oberdampfeinlassventil erst ganz zuletzt geöffnet wird, bei rechtzeitiger Unterbrechung der Steuerung auch ohne Oberdampf arbeiten. Eine excentrische Scheibe *i*, gegen welche der Hebel *f* bei seinem Niedergange schlägt, und welche mit Hülfe der

Klinke *k* höher oder niedriger gestellt werden kann, dient dazu, diese Unterbrechung herbeizuführen.

e ist ein Ventilgehäuse, durch welches die Dampfzuleitung aus dem Kessel nach dem Hammer stattfindet.

Die Ständer des abgebildeten Hammers sind aus Gusseisen und durch die Schienen *a* mit einander verbunden. *g* und *h* sind Fundamentschrauben. *cc* sind Schmiedeeisenringe, durch welche die prismatischen Führungen des Hammerbäres an den Ständern festgehalten werden. *bb* sind Holzstücke, gegen welche der Bär im höchsten zulässigen Stande schlägt; *mm* Ausflussröhren für verdichtetes Wasser.

Während bei kleinen und mittelgrossen Hämmern das zu bearbeitende Eisenstück mit Hülfe einer Zange erfasst und von einem oder mehreren zusammen angreifenden Arbeitern gehandhabt wird, ist bei der Bearbeitung grosser Schmiedeeisenstücke, insbesondere der schweren Flusseisen- und Flussstahlblöcke, welche in der Neuzeit für mannigfache Zwecke gefertigt werden, eine derartige Handhabung nicht mehr möglich. Hier muss Maschinenarbeit an Stelle der Handarbeit treten. Krahne, von Dampfkraft bewegt, heben und wenden den in Ketten hängenden Eisenblock, und die Handarbeit beschränkt sich auf die Nachhülfe mit eisernen Stangen und Haken beim Drehen und Wenden.

Jene oben erwähnten schweren Hämmer, für diesen Zweck bestimmt, müssen deshalb in jedem Falle durch einen oder mehrere ausreichend kräftig gebaute Krahne ergänzt werden; und gewöhnlich stellt man den Hammer, die Krahne und die zum Erhitzen der Eisenblöcke erforderlichen Oefen in solcher Weise gegen einander auf, dass ein und derselbe Krahn dazu dient, den Block aus dem Ofen zu holen und dem Hammer zuzuführen.

Fig. 186 auf Seite 724 giebt ein Bild einer derartigen vollständigen Hammerhütte zu Creusot mit einem 80 t-Hammer.[1]) Er steht in der Mitte der ganz aus Eisen gebauten Halle, deren Höhe bis zum Dachstuhlgebinde 17 m beträgt. Sein Gerüst *A* ist aus hohlen Gusseisenständern gebildet, welche in Form eines *A* verschraubt und oben durch ein gusseisernes Querstück verbunden sind. Der Hammer ist einfach wirkend. Der Durchmesser des Dampfcylinders beträgt 1,9 m, Durchmesser der Kolbenstange 36 cm, also freier Cylinderquerschnitt unterhalb des Kolbens 2,734 qm. Der grösste Kolbenhub ist 5 m, die Weite zwischen den Füssen des Ständers 7,5 m. Die Steuerung geschieht durch Ventile von Hand. Der Unterbau ruht in 11 m Tiefe unter dem Boden auf einem Felsen; auf diesem ist zunächst 4 m hohes Cementmauerwerk hergestellt, dann folgt eine Eichenholzbettung von 1 m Höhe und auf dieser ruht die 622 t schwere Schabotte, welche aus elf Theilen zusammengesetzt ist. Der Unterbau der Schabotte ist vollständig unabhängig von der des Hammergerüstes, wie die Abbildung erkennen lässt.

Vier Krahne *C C* — zwei an jeder Seite des Hammers — sind

1) Nach v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878.

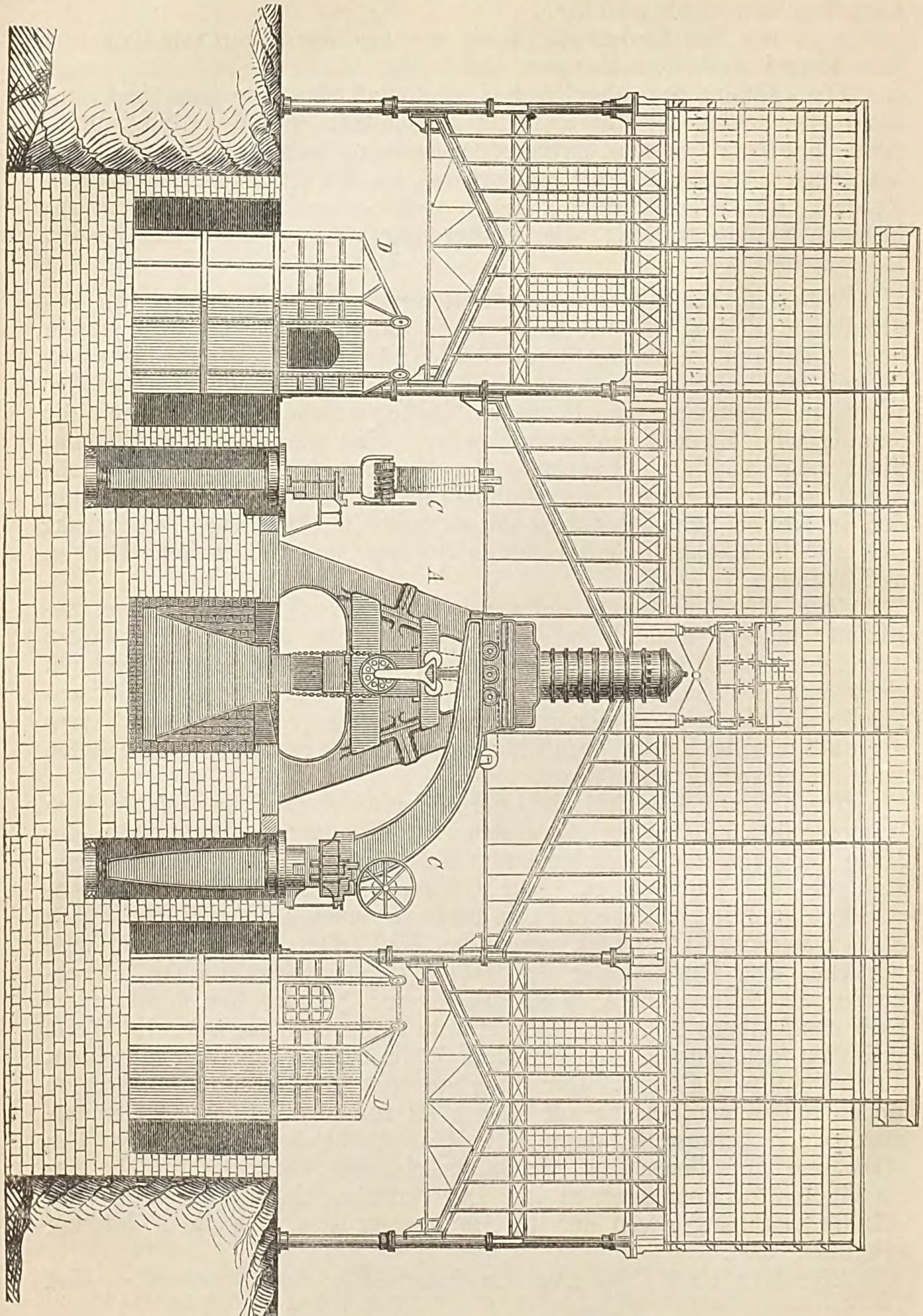


Fig. 186.

zu seiner Bedienung bestimmt. Drei davon besitzen eine Tragkraft von 100 t, der vierte eine solche von 160 t. Sie sind aus Eisenblech gebaut, und jeder ist mit einer am Ständer befestigten 60pferdigen Dampfmaschine versehen. Der Halbmesser des Auslegerkreises ist 9,35 m.

Jedem Krahne entspricht ein Glühofen *D*. Schienengeleise verbinden die Hammerhütte mit der in der Nähe gelegenen Stahlhütte, in welcher die Blöcke erzeugt werden.

e) Die Arbeit des Schmiedens.

Wenn mit dem Hammer ein Schlag auf irgend eine Stelle eines durch Erhitzung erweichten Eisenstückes ausgeführt wird, so entsteht an dieser Stelle ein Eindruck, d. h. eine Verdünnung des Querschnitts. Je kleiner die Stelle war, auf welche die Schlagwirkung ausgeübt wurde, desto tiefer muss bei übrigens gleicher mechanischer Wirkung des Schlages der Eindruck, desto stärker die Querschnittsverdünnung ausfallen.

Wenn es sich also nicht sowohl darum handelt, durch die Hammerschläge weitgehende Querschnittsveränderungen hervorzubringen, als vielmehr ein Auspressen von Schlacke aus weichem Schweisseisen, eine Verdichtung blasigen Flusseisens herbeizuführen, so wird man jeden einzelnen Schlag möglichst auf die ganze Oberfläche des auf dem Ambos ruhenden Arbeitsstückes einwirken lassen, d. h. einen Hammer mit breiter Bahn verwenden. Dass aber auch hierbei das Gewicht und die Fallhöhe des Hammers mit der Dicke des zu bearbeitenden Eisenstückes im Einklange stehen müssen, wenn die Wirkung der Schläge sich nicht nur auf die Oberfläche des letzteren erstrecken soll, wurde schon früher hervorgehoben.

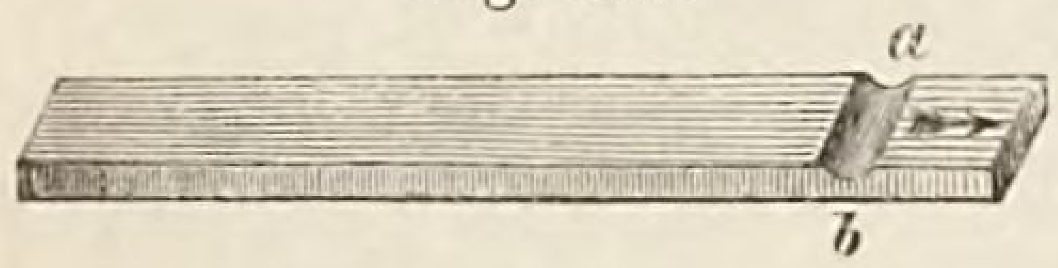
Auch bei einer solchen Bearbeitung der ganzen Oberfläche eines Arbeitsstückes durch einen Hammer mit breiter Bahn findet eine allmähliche Querschnittsverdünnung unter entsprechender Ausbreitung statt. Ist eine solche Formveränderung nicht beabsichtigt, so ist es nicht schwierig, ihr entgegen zu arbeiten; man braucht nur das Arbeitsstück von Zeit zu Zeit um 90 Grad zu wenden (es auf die hohe Kante zu stellen), um nunmehr durch die Hammerschläge eine Verkürzung in der Richtung der zuvorigen Ausbreitung, eine Verdickung in der Richtung der zuvorigen Querschnittsverdünnung herbeizuführen (Stauchen).

Uebt man vermittelst eines Hammers, dessen Bahn kreisrunde Form von nicht allzu beträchtlichem Durchmesser besitzt und etwas nach aussen gewölbt ist, einen Schlag auf eine Stelle eines plattenförmigen Arbeitsstückes aus, welche nicht dessen ganze Breite besitzt, so entsteht hier eine Beule, d. h. infolge der stattfindenden Querschnittsverdünnung muss das Metall aus der Ebene heraustreten, und wenn man zahlreiche solche Beulen in bestimmter Folge an einander reiht, so nimmt allmählich die ganze Platte eine ausgebauchte Form an, es entsteht ein Hohlkörper. Es ist dieses eine Arbeit, die zwar bei der Herstellung und ersten Formgebung des Eisens selten oder gar nicht in Anwendung kommt, bei der Verarbeitung der Metalle zu Gebrauchs-

gegenständen aber seit Alters her eine grosse Wichtigkeit besitzt und Treiben genannt wird.

Benutzt man einen Hammer mit langgestreckter schmaler Bahn und führt man mit dessen Hülfe einen Schlag aus, welcher quer über das ganze Arbeitsstück hinübergeht, so entsteht an dieser Stelle eine Furche. Der Querschnitt wird hier verdünnt, und die nächste Folge davon ist eine Längenausdehnung in der Richtung rechtwinklig gegen die Richtung jener Furche. Bei dem Arbeitsstücke Fig. 187 muss die Entstehung der Furche *ab* eine Verlängerung in der Richtung des Pfeiles zur Folge haben. Reiht man nun zahlreiche solcher Parallelfurchen eine dicht neben die andere, so wird das ganze Arbeitsstück, ohne erheblich verbreitert zu werden, eine entsprechende Längenausdehnung und gleichzeitige Querschnittsverdünnung erfahren. Diese Arbeit, Längenausdehnung und Querschnittsverdünnung ohne Verbreiterung, welche sowohl bei der ersten Formgebung als bei der späteren Verarbeitung des Eisens und anderer Metalle häufig in Anwendung kommt, wird Strecken genannt. Je schmaler die Bahn des beim Strecken benutzten Hammers ist, desto stärker fällt die durch jeden einzelnen Schlag hervorgebrachte Querschnittsverdünnung aus, desto rascher ist der Verlauf des Streckens, desto geringer die stattfindende Ausbreitung des Arbeitsstückes.

Fig. 187.



Je dichter nun die benachbarten Hammerschläge, welche das Strecken bewirkten, neben einander liegen, desto weniger bemerkbare Spuren bleiben auf der Oberfläche des Arbeitsstückes zurück. Vollständig lassen sie sich tilgen, wenn nach beendigtem Strecken das Arbeitsstück mit wenigen Schlägen einer Hammerbahn bearbeitet wird, deren Längenrichtung mit der Längenrichtung des gestreckten Arbeitsstückes übereinstimmt, während ihre Breite mindestens so gross ist, als die Breite des Arbeitsstückes. Die Schlagwirkung wird hierbei auf eine grosse Fläche vertheilt, und eine erhebliche Querschnittsverdünnung oder Ausbreitung findet nicht statt; aber die mit Furchen bedeckte Oberfläche wird geglättet. Diese Vervollkommnung der Oberfläche eines durch Hammerschläge gestreckten Arbeitsstückes heisst Schlichten.

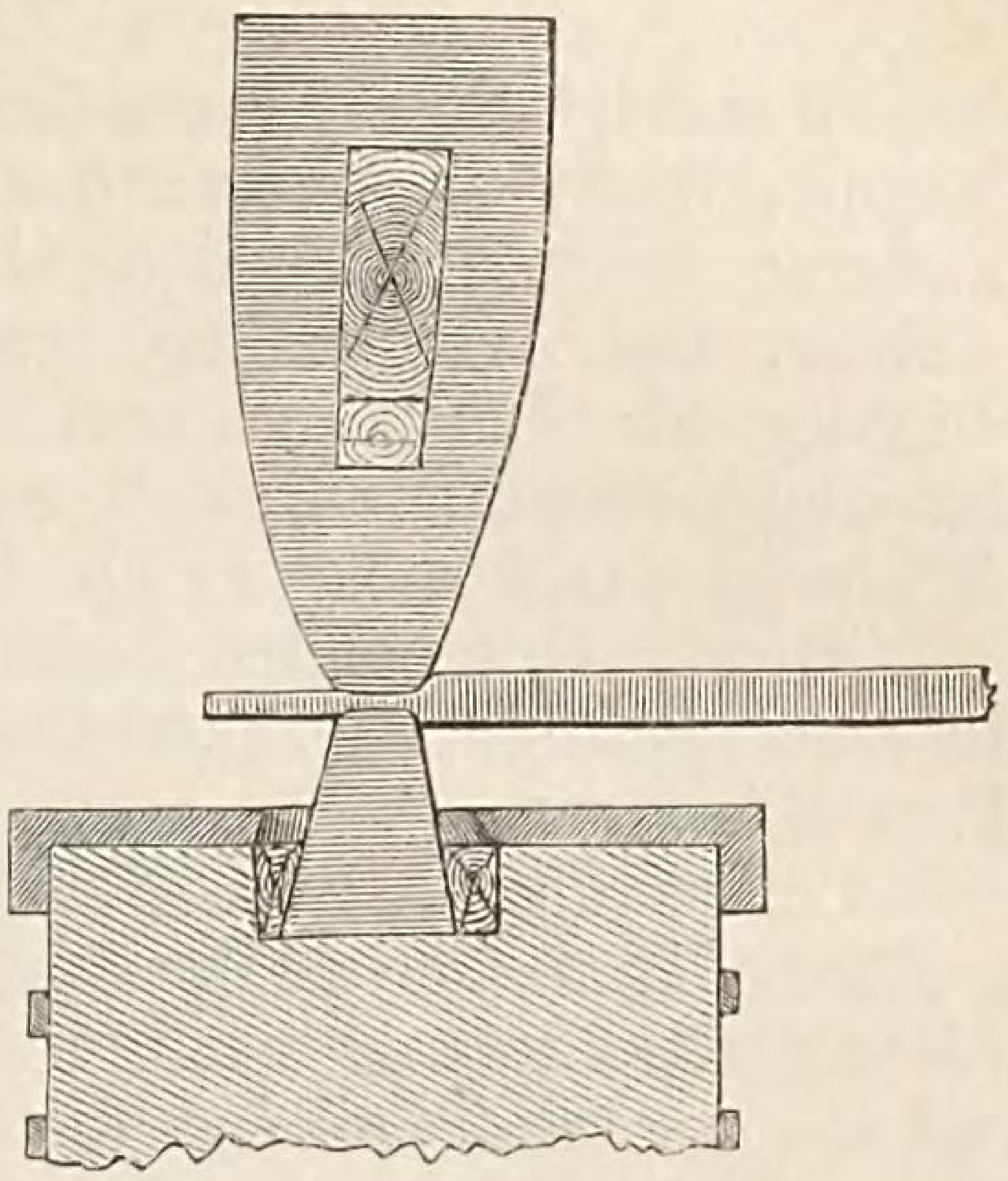
Die entgegengesetzte Arbeit des Streckens ist das Stauchen, eine Verkürzung der Längenabmessung unter Vergrösserung der Dicke. Die Arbeit wird, wie oben erwähnt, ausgeführt, indem man das Arbeitsstück hochkantig auf den Ambos stellt und Schläge auf die Stirnfläche ausführt.

Der geschilderte Verlauf des Streckens, Schlichtens und Stauchens, welche Arbeiten bei jedem Hammer zur Ausführung kommen, der nicht etwa zum Treiben bestimmt und deshalb mit besonders geformter Bahn versehen ist, erklärt die übliche Form und Anwendung der Hammerbahnen.

Den Aufwerf- und Schwanzhämmern der Frischfeuerhütten, welche die Bestimmung haben, zum Ausschmieden des Eisens zu Stäben benutzt zu werden, pflegt man eine rechteckige, langgestreckte Bahn zu geben. Je schmaler die Bahn ist (deren Form mit derjenigen der

Ambosbahn übereinstimmen muss), desto rascher geht das Strecken unter dem Hammer vorwärts; aber in Rücksicht auf das nachfolgende Schlichten darf die Breite der Bahn immerhin nicht geringer sein als diejenige der zu schmiedenden Stäbe.

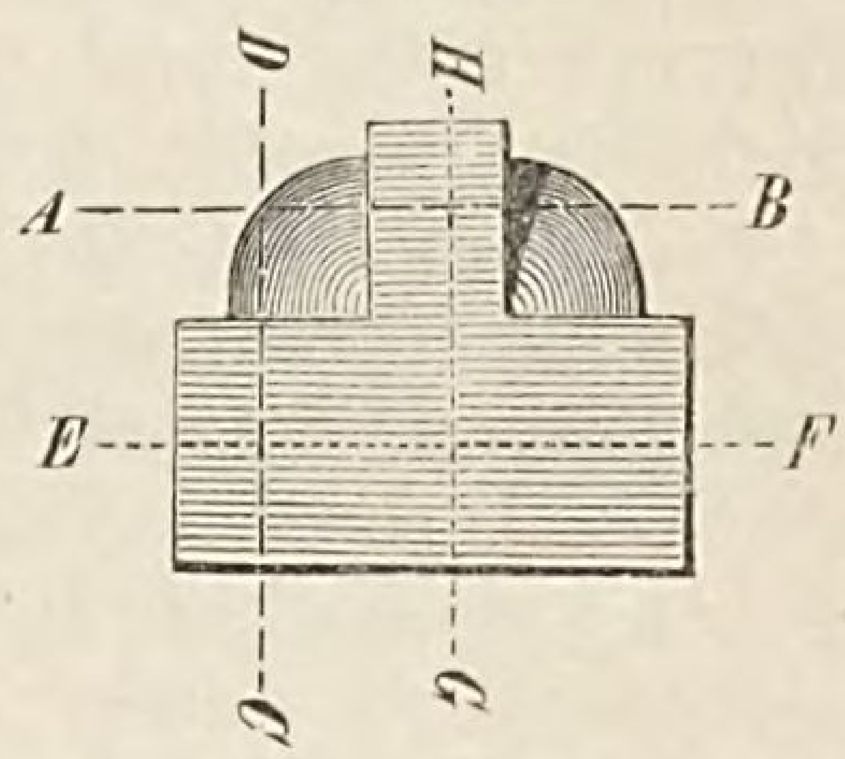
Fig. 188.



Beim Strecken nun hält man den Stab so, dass er quer über dem Ambos liegt (Fig. 188), beim Schlichten legt man ihn von der Stirnseite des Hammers aus der Länge nach auf den Ambos. Soll die Breitenrichtung verkürzt oder sollen die Kanten geebnet werden, so wird er mit der schmalen Seite auf den Ambos gelegt.

Grösseren Hämmern dagegen — Stirnhämmern, Dampfhämmern — pflegt man eine Hammer- und Ambosbahn, wie in Fig. 189 im Grundrisse dargestellt ist, d. i. mit **T** förmiger Grundfläche zu geben. Die beiden rundlichen Ansätze in den Ecken dienen nur zur Verstärkung. Beim Strecken legt man, je nachdem es rascher oder weniger rasch verlaufen soll, das Arbeitsstück entweder in der Richtung *AB* oder *CD* quer über einen der Schenkel; beim Schlichten erhält es die Richtung *EF* oder *GH*. Der mittlere Theil der Bahn in der Nähe der Kreuzungsstelle dient zum Stauchen, welches besonders bei der ersten Bearbeitung der Eisenblöcke und Luppen ziemlich regelmässig erforderlich ist.

Fig. 189.



Im Uebrigen muss bei der Einrichtung der Hammer- und Ambosbahn auch die Anordnung des Hammergerüstes in Betracht kommen, von welcher die Zugänglichkeit des Ambos abhängt; auch die besondere Form der Schmiedestücke, welche gefertigt werden sollen, spricht hierbei mit.

Sonstige Arbeiten des Schmiedens kommen mehr bei der späteren Verarbeitung als bei der ersten, in den Eisenhütten bewirkten Formgebung in Anwendung und sind ihrer Theorie nach so einfach, dass sie einer eingehenderen Erörterung nicht bedürfen. Hierher gehört das Schmieden in Gesenken, formgebenden, aus Eisen hergestellten Ergänzungsstücken zum Hammer und Ambos, welche beim Schmieden einen ganz ähnlichen Zweck zu erfüllen haben, als die Gussformen beim Giessen; das Abhauen einzelner Stücke vom Ganzen mit Hülfe des Schrotmeissels und Abschrotes; die Herstellung einer durchgehenden Oeffnung vermittelst des Durchschlages und Lochringes; u. a. m. In jeder kleineren und grösseren Schmiedewerkstatt kann man die hierfür benutzten Geräthe und ihre Anwendung täglich in Augenschein nehmen.

2. Die Pressen.

a) Allgemeines.

Während die Wirkung des Hammers auf der Ausübung von Schlägen beruht, wirkt die Presse durch ruhigen, aber kräftigen Druck. Mit anderen Worten: bei dem Hammer ist die Endgeschwindigkeit, mit welcher das Arbeitsstück vom Hammerkopfe (Fallbär) getroffen wird, wichtig für das Maass des stattfindenden Einflusses; bei der Presse ist diese Geschwindigkeit so unbedeutend, dass nur die ausgeübte Kraft — der Druck — für die Wirkung in Betracht kommt.

Dieser Unterschied bedingt beachtenswerthe Abweichungen auch in dem Erfolge, je nachdem man sich eines Hammers oder einer Presse bedient.

Schon oben wurde des Umstandes gedacht, dass die zuerst getroffenen Theilchen an der Aussenfläche eines in Bearbeitung befindlichen Eisenstückes um so weniger Zeit finden, die empfangene Einwirkung auf die inneren Theilchen fortzupflanzen, je kürzer die Zeitdauer dieser Einwirkung, d. h. je grösser die Endgeschwindigkeit eines Schlages ist. Die erste Folge hiervon ist eine ungünstige Ausnutzung der durch die Formel $\frac{Mv^2}{2}$ (Seite 712) ausgedrückten Schlagarbeit, und diese ungünstige Ausnutzung der Arbeit äussert sich durch die Entstehung von Erschütterungen der Schabotte und des umgebenden Erdreiches, hervorgerufen durch die vom Hammer ausgeübte und vom Arbeitsstücke nicht verbrauchte Arbeit.

Findet statt des durch seine grosse Endgeschwindigkeit gekennzeichneten Schlages ein ruhiger, auf einen längeren Zeitraum ausgedehnter Druck statt, so können die Theilchen des getroffenen Eisenstückes besser als in jenem Falle der stattfindenden Einwirkung Folge geben; sie ändern in stärkerem Maasse ihre Lage gegen einander, und insbesondere werden auch die im Innern befindlichen Theile stärker beeinflusst. Die Ausnutzung der aufgewendeten Arbeit ist demnach günstiger, und in den Fällen, wo nicht blos eine Formveränderung des Arbeitsstückes beabsichtigt ist, sondern wo eine Veredelung in dem früher besprochenen Sinne stattfinden soll, ist die Wirkung des Pressens vollkommener, zumal bei Arbeitsstücken von grösserer Dicke.

Je grösser die einmalige Schlag- oder Druckarbeit ist, desto grösser fällt jener Unterschied in der Arbeitsausnutzung aus, je nachdem man einen Hammer oder eine Presse verwendet. Man kann daher mit Vortheil die Wirkung mehrerer auf einander folgender Hammerschläge durch einen einmaligen, entsprechend kräftigen Druck einer Presse ersetzen. Die Zeitdauer der Arbeit wird hierdurch abgekürzt, und indem man den nach jedem Hammerschlage nothwendigen leeren Rückgang entbehrlich macht, vermeidet man fernerhin Arbeitsverluste.

Diese Vortheile des Pressens gelangen um so deutlicher zur Geltung, je schwerer das zu bearbeitende Eisenstück ist. Für die Verarbeitung der verhältnissmässig kleinen und weichen Luppen, welche

das erste Erzeugniss aller Verfahren der Schweisseisendarstellung bilden, und für die Entfernung der in ihnen enthaltenen Schlacke vermag die Presse kaum besondere Vortheile vor dem Hammer zu gewähren; man pflegt sogar anzunehmen, dass die Schlagwirkung eines Hammers für die Reinigung von Schlacke günstiger sei als der Druck der Presse. Vortheilhafte Verwendung dagegen finden die Pressen bei der Bearbeitung schwerer Flusseisenblöcke, und seit Anfang der achtziger Jahre hat die Zahl der für diesen Zweck erbauten Pressen von Jahr zu Jahr sich vermehrt.

Nach einer Mittheilung von Gautier[1]) waren für die Bearbeitung eines für ein Geschützrohr bestimmten Flussstahlblockes von 36½ t Gewicht in einem Sheffielder Eisenwerke bei Benutzung eines 50 t-Dampfhammers drei Wochen Arbeit und 33 Erhitzungen nothwendig, bei Verarbeitung eines 37½ t schweren Blockes unter einer Presse von 4000 t Druck dagegen nur 4 Tage Arbeit und 15 Erhitzungen. Obgleich kaum zu bezweifeln ist, dass in diesem Falle die Arbeit mit dem Hammer durch ungünstige Zufälligkeiten auf eine längere Zeitdauer, als gerade unbedingt nothwendig gewesen wäre, ausgedehnt worden ist, kann doch die Zahl der erforderlichen Erhitzungen in beiden Fällen als annähernd zuverlässiger Maassstab für den Verlauf der Arbeit dienen. Bei der Arbeit mit der Presse war weniger als die Hälfte Erhitzungen nothwendig als bei der Arbeit unter dem Hammer.

b) Die Einrichtung der Pressen.

Nur Pressen mit Wasserdruck sind geeignet, die bedeutende Kraftleistung zu entwickeln, welche für die hier in Rede stehenden Zwecke erforderlich ist. Schon im Jahre 1861 wurde von Haswell eine Wasserdruckpresse gebaut, welche für Anfertigung grösserer Schmiedestücke wie auch für die Verdichtung von Schweisseisenluppen bestimmt war.[2]) Für den letzteren Zweck wurde sie, wie es scheint, nur versuchsweise und ohne recht befriedigenden Erfolg in Anwendung genommen; für den ersteren Zweck dagegen war sie bis zum Anfang der achtziger Jahre mehrfach in Benutzung.

Als nicht geeignet erwies sich jene Presse für die erste Bearbeitung schwerer Flusseisenblöcke, also diejenige Aufgabe, für welche den gegebenen Erklärungen zufolge die Anwendung einer kräftigen Presse vorzugsweise von Nutzen ist. Ihre Einrichtung musste in mehrfacher Beziehung vervollkommnet werden, um die Erzielung des sehr hohen, für diesen Zweck nothwendigen Druckes zu ermöglichen. Die im Laufe der achtziger Jahre gemachten Fortschritte in der Stahlgiesserei erleichterten die Erreichung des Zieles, indem sie die Möglichkeit gewährten, für die besonders stark beanspruchten Theile der

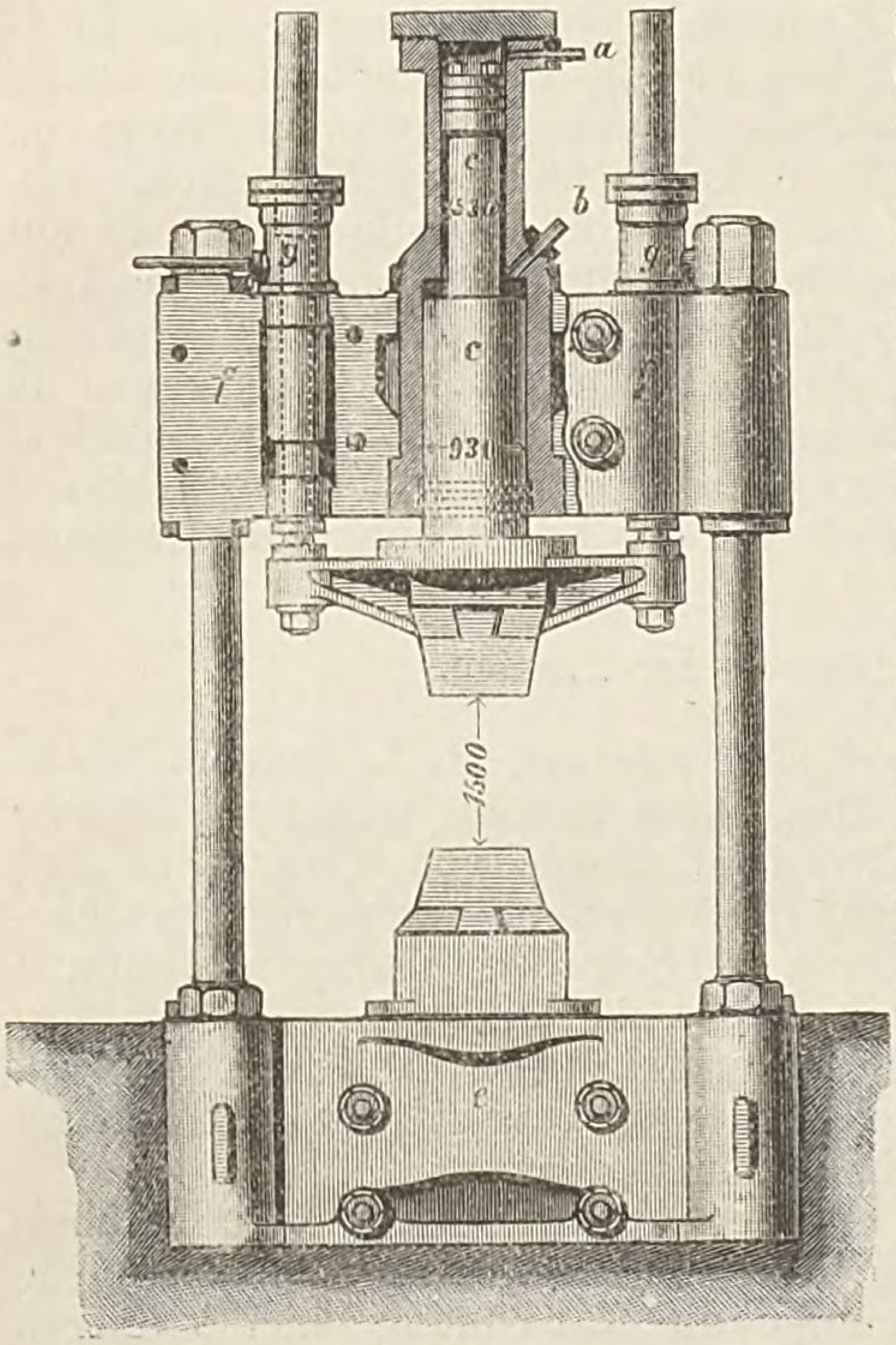
1) Bulletin de la Société de l'Industrie minérale, série 2, tome III, livraison III (1889).

2) Näheres hierüber: Jahrbuch der Bergakademien zu Leoben, Schemnitz und Příbram, Band XV, Seite 166; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1863, Seite 287; Zeitschr. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1872, Seite 329; A. Ledebur, Die Verarbeitung der Metalle auf mechanischem Wege, Braunschweig 1877, Seite 468.

Presse, z. B. den Druckcylinder, Stahlguss statt des weniger festen, bis dahin ausschliesslich benutzten Gusseisens zur Anwendung zu bringen.

Die Erzeugung der Kraft erfolgt bei allen diesen Pressen durch Dampf. Von der Kolbenstange des Dampfcylinders wird eine Druckpumpe betrieben, welche dem Druckcylinder und Treibkolben das Druckwasser zuführt. Nicht selten ist auch ein Sammler (Accumulator) vorhanden, um für geringere Druckleistungen benutzt zu werden. Im Einzelnen aber ist die Einrichtung der verschiedenen in der Jetztzeit benutzten Pressen ziemlich mannigfaltig.

Fig. 190.



Als erläuterndes Beispiel möge die in Fig. 190 in ungefähr $^1/_{150}$ der wirklichen Grösse dargestellte Presse der Bochumer Gussstahlfabrik dienen.[1]) Der Presscylinder sowohl als der Presskolben *c* besitzt, wie die Abbildung zeigt, oben einen kleineren Durchmesser als unten. Druckwasser kann sowohl durch das Rohr *a* als durch das Rohr *b* oder auch durch beide Rohre zugleich zugelassen werden. Man ist hierdurch befähigt, mit verschieden starkem Drucke zu arbeiten, und zwar ist das Verhältniss in den drei angegebenen Fällen, entsprechend der Grösse der dem Durchmesser preisgegebenen Kolbenflächen, wie 1:2:3. Die zugehörige (in der Abbildung nicht gezeichnete) Druckpumpe liefert einen Druck von 600 Atmosphären; der vom Kolben ausgeübte Gesammtdruck beträgt 4000 t, falls das Druckwasser auf die ganze Kolbenfläche wirkt. Für die Aufwärtsbewegung des Druckkolbens dienen die zwei kleinen Hebecylinder *gg*, welche durch Rohrleitungen mit einem Sammler von 50 Atmosphären Belastung in Verbindung stehen. Die Art und Weise, wie die Kolbenstangen dieser Cylinder an den Druckkolben angeschlossen sind, ist leicht erkennbar. Die Verbindung zwischen den Cylindern *gg* und dem erwähnten Sammler bleibt ununterbrochen, so dass der Druckkolben steigt, sobald dem zu seiner Abwärtsbewegung benutzten Druckwasser Auslass gegeben wird; bei dem Niedergange dagegen wird das in den Hebecylindern befindliche Wasser nach dem Sammler zurückgedrückt. Zum Tragen des 35 t schweren Druckcylinders und der beiden Hebecylinder

1) Patentschrift Nr. 45323; „Stahl und Eisen" 1892, Seite 166.

dient der in zwei Theilen aus Stahl gegossene, 64 t schwere Holm *f*, welcher durch vier starke Anker mit der den Ambos tragenden Schabotte *e* verbunden ist.

Die Bedienung einer solchen Presse geschieht mit Hülfe von Krahnen in der nämlichen Weise wie die eines grossen Hammers (Abbildung Fig. 186 auf Seite 724). Die Anordnung der vorstehend beschriebenen Presse nebst Betriebsmaschine, Drucksammlern, Krahnen und Glühöfen ist in „Stahl und Eisen" 1893, Tafel III abgebildet.

c) Die Arbeit des Pressens.

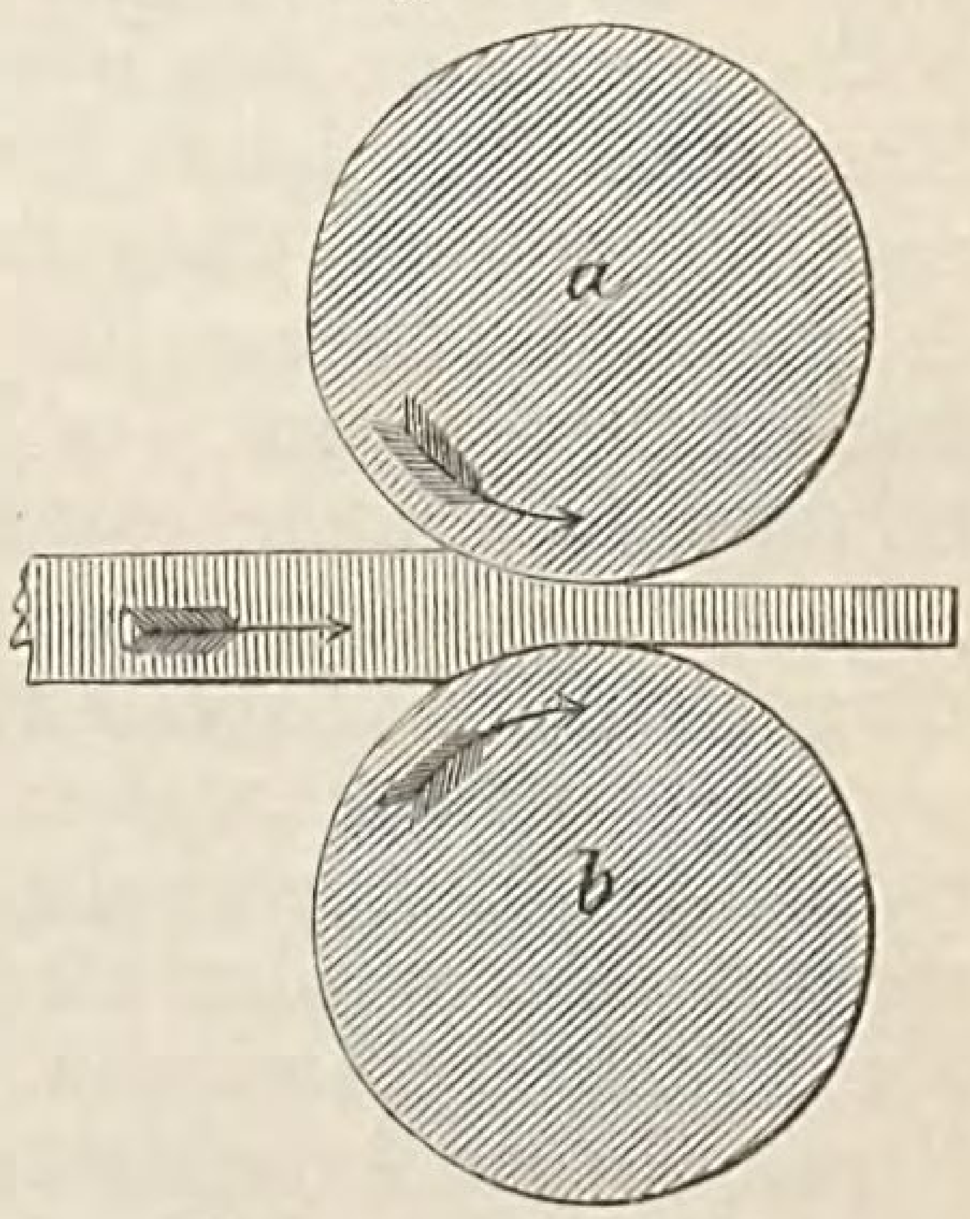
Die nämlichen, oben ausführlicher besprochenen Umstände, welche beim Schmieden mit dem Hammer die stattfindende Formveränderung bedingen, sind auch beim Pressen maassgebend. Erzeugt man unter Anwendung einer schmalen Bahn (Druckfläche) einen quer über das Arbeitsstück hinüber gehenden Eindruck, so findet Streckung in der Richtung rechtwinklig gegen jenen Eindruck statt; ist die Bahn breit, so weichen die Theilchen nach allen Richtungen aus, es tritt Ausbreitung ein. Soll eine Abmessung verkürzt werden, so erreicht man den Zweck durch Stauchen; häufig auch ist die Anwendung von Gesenken erforderlich, um weniger einfache Formen hervorzubringen, als sich zwischen den ebenen Druckflächen ausbilden lassen.

3. Die Walzwerke.

a) Allgemeines.

Ein Walzwerk für Eisen- oder Metallbearbeitung ist eine Vorrichtung, bei welcher das zu bearbeitende Metallstück zwischen zwei sich in entgegengesetzter Richtung drehenden, gewöhnlich wagerecht liegenden Walzen hindurchgeführt wird, um hierbei eine Verdünnung seines Querschnitts zu erleiden (Fig. 191). Die Walzen erhalten hierbei ihren Antrieb von aussen her; das zu walzende Arbeitsstück wird infolge der Reibung der Walzenoberflächen von den Walzen ergriffen und zwischen ihnen hindurchgeführt.

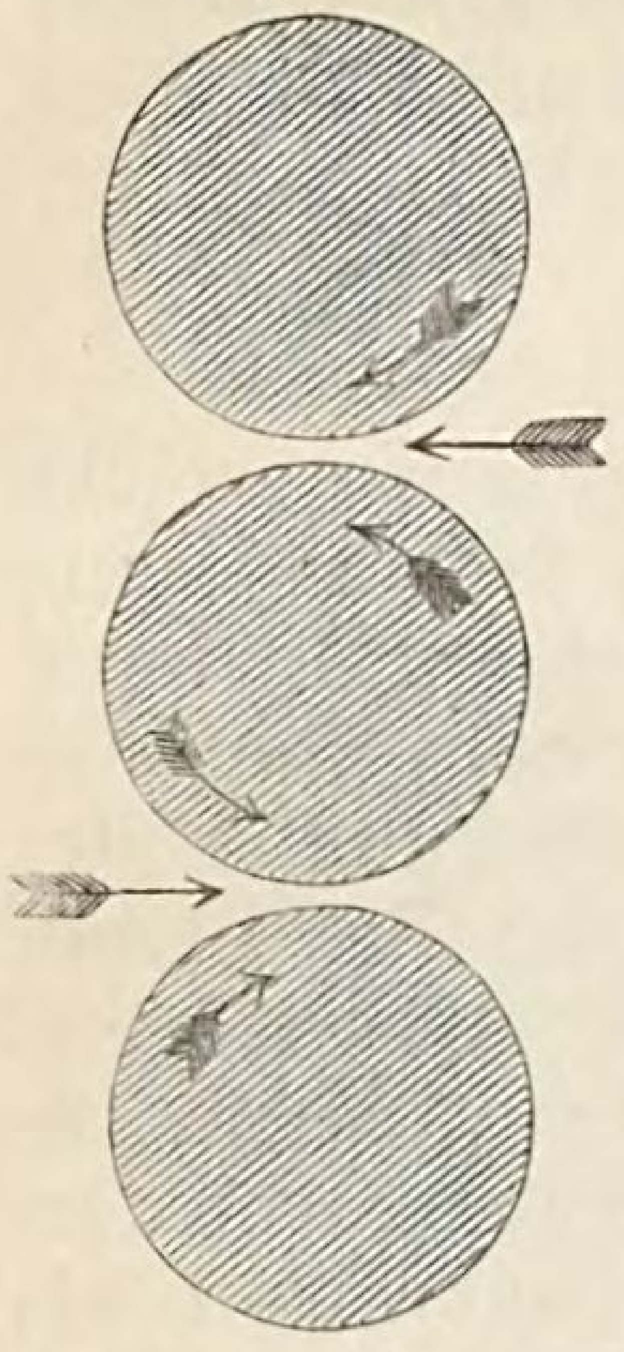
Fig. 191.



Ein Walzwerk mit nur zwei parallelen Walzen, wie Fig. 191, heisst Z w e i w a l z w e r k (D u o w a l z w e r k), und man unterscheidet dabei die Oberwalze *a* und die Unterwalze *b*; ordnet man eine dritte Parallelwalze an zu dem Zwecke, das Walzstück, nachdem es zwischen der ersten und zweiten Walze hindurchgegangen ist, zwischen der zweiten und dritten wieder zurückführen zu können (Fig. 192), so heisst das Walzwerk D r e i w a l z w e r k (T r i o - w a l z w e r k) mit Oberwalze, Mittelwalze und Unterwalze. Ein Dreiwalzwerk ermöglicht eine grössere Beschleunigung der Arbeit als ein

Zweiwalzwerk, und seine Anwendung ist deshalb vorzugsweise zweckmässig beim Walzen von Gegenständen mit dünneren Querschnitten, welche rascher erkalten; aber die Abnutzung der drei Walzen ist ungleich, da die Mittelwalze doppelt so oft als die anderen beiden in Anspruch genommen wird.

Fig. 192.



Gewöhnlich erfolgt die Bewegung der Walzen durch in einander greifende Getriebe, deren Wellen mit den Zapfen der Walzen gekuppelt sind, und von welchen eins seinen Antrieb von der Betriebsmaschine (Wasserrad, Dampfmaschine) aus erhält; in einzelnen besonderen Fällen jedoch treibt man unter Weglassung der Getriebe nur die eine Walze an und lässt die zweite, oder auch die zweite und dritte, nur durch die Reibung des von der ersten Walze mitgenommenen Arbeitsstückes in Drehung versetzen. Solche Walzen ohne äusseren Antrieb heissen Schleppwalzen.

Sollen plattenförmige Körper (Bleche) gewalzt werden, so ist die Oberfläche der Walzen glatt; sollen dagegen stabförmige Körper von bestimmter Querschnittsform hergestellt werden, so ist die Oberfläche mit ringförmig herumlaufenden Profilbegrenzungen bedeckt, welche das hindurchgehende Walzstück einschliessen und Kaliber genannt werden. Sie vertreten gewissermaassen die Stelle eines Gesenkes beim Schmieden, der Gussform beim Giessen. Auf der einzelnen Walze erscheinen sie theils als Einschnitte oder Furchen, theils als Ringe, welche in die Furche der zweiten Walze eingreifen (vergl. unten Fig. 195 auf Seite 736). Selbstverständlich müssen die Kaliber der zu einander gehörenden Walzen genau einander ergänzen, zu einander passen.

Der Vorgang beim Walzen besitzt eine gewisse Aehnlichkeit mit dem oben geschilderten Vorgange des Streckens unter dem Hammer. Die Unterwalze vertritt beim Walzen die Stelle des Ambos, die Oberwalze diejenige des Hammers; in beiden Fällen, beim Strecken durch Hämmern wie beim Walzen, beruht die Streckung vornehmlich auf dem Umstande, dass das quer über das ganze Arbeitsstück hinübergehende Werkzeug (der Hammer in dem einen, die Walze in dem zweiten Falle) an der Berührungsstelle einen Eindruck, eine Querschnittsverdünnung erzeugt, welche eben die Ursache der rechtwinklig gegen die Richtung des entstehenden Eindruckes stattfindenden Verlängerung des Arbeitsstückes ist.

Beim Hämmern aber muss das Arbeitsstück nach jedem stattgehabten Schlage weitergeschoben werden, der Hammer muss emporgehoben werden und wieder niederfallen, damit ein neuer Schlag erfolge; bei dem Walzen bewirken die Walzen selbstthätig ununterbrochen den Vorschub des Arbeitsstückes, und der Zeitverlust für das Anheben und Niederfallen des Hammers kommt in Wegfall. Aus diesem Grunde ist die Leistungsfähigkeit eines Walzwerkes beim Strecken ungleich grösser als die des Hammers, und überall, wo die Aufgabe vorliegt, grössere Metallmengen durch rasches Strecken zu verarbeiten, hat das Walzwerk den Hammer verdrängt. Die Einrichtung eines Walzwerkes aber ist,

wie sich aus der später folgenden Beschreibung der verschiedenen Gattungen von Walzwerken ergeben wird, weniger einfach als die eines Hammers, der Raumbedarf grösser; daher konnte das Walzwerk seine jetzige Wichtigkeit überhaupt erst dann erlangen, nachdem die geänderten Zeitverhältnisse in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts mehr und mehr zu einer Massenerzeugung des schmiedbaren Eisens hindrängten.[1]) Das Walzwerk aber vermag nur zu strecken und entweder Bleche oder in Kalibern stabförmige Körper von bestimmten Querschnittsformen zu erzeugen. Die Benutzbarkeit des Hammers ist vielseitiger, und ein vollständiger Ersatz des Hammers durch das Walzwerk ist deshalb nicht denkbar. Auch den Zweck, welchem die Presse in Eisenwerken vornehmlich dient, und welcher oben ausführlicher erläutert wurde, vermag das Walzwerk nicht zu erfüllen.

Beim Hammer fällt, wie früher besprochen wurde, die durch jeden einzelnen Schlag hervorgebrachte Streckung in der Längenrichtung um so stärker, die Ausbreitung um so geringer aus, je schmaler die Hammerbahn ist; eine ganz ähnliche Erscheinung zeigt sich beim Walzen. Hier ist die Berührungsstelle zwischen der Walzenoberfläche und dem Arbeitsstücke um so schmaler, und der gleiche ausgeübte Druck ruft deshalb eine um so stärkere Querschnittsverdünnung an der Berührungsstelle hervor, je stärker die Krümmung der Walzenoberfläche, d. h. je kleiner der Walzendurchmesser ist. Daher ist bei Walzen mit kleinem Durchmesser die Streckung grösser, die Ausbreitung in der Walzenachse geringer als bei Walzen mit grösserem Durchmesser, vorausgesetzt, dass der ausgeübte Druck und die Umfangsgeschwindigkeit in beiden Fällen gleich gross sei.

Bei dem Walzen in Kalibern wird durch die immerhin stattfindende Ausbreitung ein Seitendruck erzeugt, welcher zwar die Ausbildung scharfer Umrisse des entstehenden Querschnittsprofiles ermöglicht, andrerseits aber, wenn er zu beträchtlich ist, zu einem Festklemmen des Arbeitsstückes und zu anderen Uebelständen führen kann. Das Maass dieses Seitendruckes ist abhängig von dem Walzendurchmesser, von der Grösse des überhaupt ausgeübten Druckes (d. i. der stattfindenden Querschnittsverkleinerung) und besonders auch von dem Verhältnisse der Breite des Kalibers zu der Beite des eingeführten Walzstückes. Je grösser dieses Verhältniss ist, d. h. je mehr Gelegenheit dem Walzstücke zur Ausbreitung gegeben ist, desto schwächer muss der Seitendruck ausfallen.

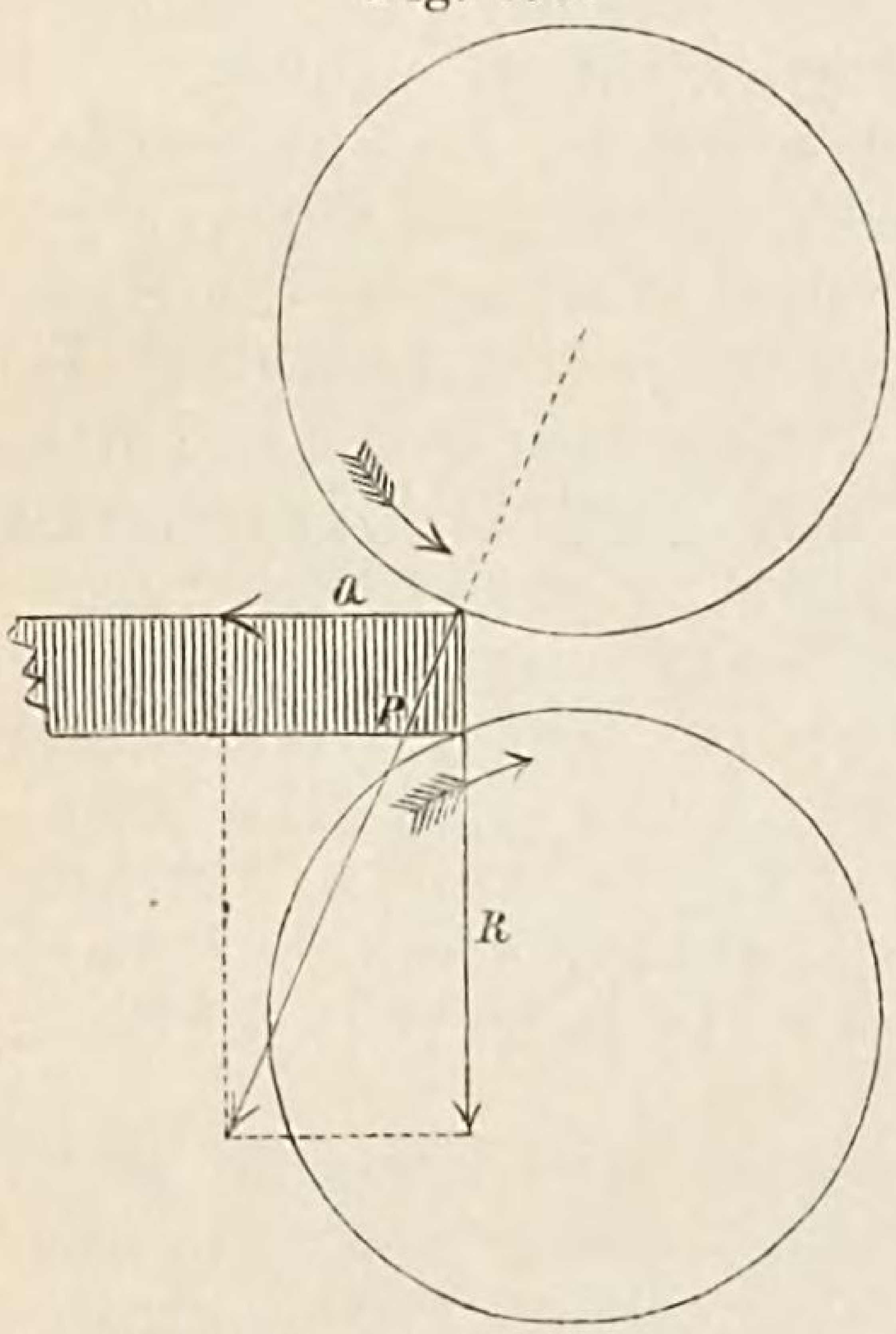
Wenn es zufolge den oben erörterten Beziehungen zwischen dem Walzendurchmesser und dem Maasse der Streckung zweckmässig erscheint, möglichst kleine Walzendurchmesser anzuwenden, wo eine rasche Streckung erforderlich ist, muss doch anderntheils der Walzen-

1) Blechwalzwerke zum Strecken von Münzzainen waren schon seit 1553 in Anwendung, und als ihr Erfinder wird der Franzose Brulier genannt; für die Verarbeitung des Eisens kamen sie versuchsweise in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zur Verwendung. Das erste Patent auf ein Kaliberwalzwerk zur Darstellung von Stäben wurde 1784 dem Engländer Henry Cort, dem Erfinder des Puddelverfahrens ertheilt; in Deutschland wurde das erste Kaliberwalzwerk 1825 zu Rasselstein bei Neuwied in Betrieb gesetzt.

durchmesser immerhin in einem gewissen Verhältnisse zu der Stärke des Walzstückes stehen, wenn das letztere noch von den Walzen ergriffen und zwischen ihnen hindurchgeführt werden soll. Es lässt sich diese Thatsache durch folgende Betrachtung erklären.

An der Stelle, wo das Walzstück die Walzenoberfläche berührt, wird ein radialer Druck P (Fig. 193) erzeugt, welcher in eine wagerechte Kraft Q und eine senkrechte Kraft R zerlegt gedacht werden kann. Erstere strebt das Walzstück zurückzustossen, letztere erzeugt Reibung und dadurch Fortbewegung des Walzstückes. Je kleiner R ist, desto grösser fällt Q aus; R verringert sich aber, wie leicht zu ermessen ist, mit abnehmendem Walzendurchmesser, sofern der Walzenabstand von einander und die Stärke des vor die Walzen gebrachten Walzstückes unverändert bleibt. Es tritt daher eine Grenze ein, wo die erzeugte Reibung nicht mehr ausreichend ist, das Zurückstossen des Walzstückes zu hindern, wo dieses nicht mehr mitgenommen wird. Man pflegt als Regel anzunehmen, dass der Durchmesser von Walzen für dünnere und mittelstarke Gegenstände mindestens 10 mal so gross sein müsse als die Stärke des Walzstückes vor dem Durchgange durch die Walzen, oder mindestens 20 mal so gross als seine Stärke nach dem Durchgange. Bei Walzen für sehr starke Gegenstände (Flusseisenblöcke, Panzerplatten) ist allerdings das Verhältniss meistens erheblich kleiner.

Fig. 193.



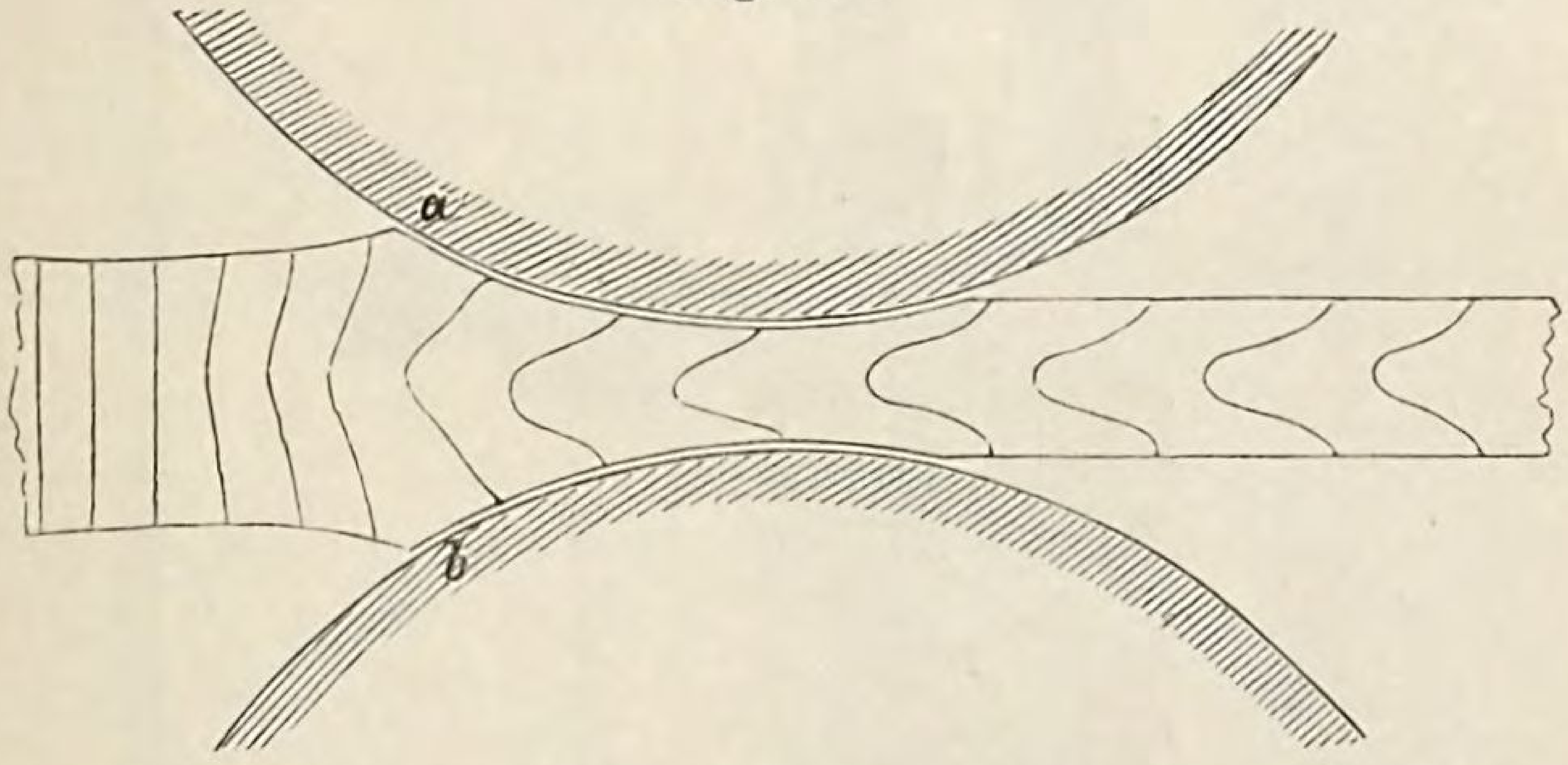
Ueber die Vorgänge beim Walzen sind bereits zahlreiche Untersuchungen angestellt und Theorien entwickelt worden (vergl. Literatur), ohne dass der Gegenstand bis jetzt völlig erschöpfend behandelt worden wäre. Jedenfalls sind diese Vorgänge, insbesondere die Verschiebungen der Theilchen beim Walzen, etwas anders, wenn das Metall, wie das Eisen, heiss, als wenn es, wie z. B. das Blei, kalt gewalzt wird. Im ersteren Falle wird die von den kälteren Walzen berührte Aussenfläche des Walzstückes abgekühlt, sie verliert dadurch an Geschmeidigkeit, während der Kern weicher bleibt; beim Kaltwalzen fällt dieser Unterschied weg. Hieraus erklärt es sich, dass die Enden heiss gewalzter Metalle einen convexen Rand, kalt gewalzter einen concaven Rand zu besitzen pflegen. In der Mitte des Walzstückes aber sind in beiden Fällen, man mag heiss oder kalt walzen, die stattfindenden Verschiebungen im Wesentlichen dieselben; eine diesbezügliche Beobachtung lässt sich anstellen, wenn man in dem Walzstücke hindurchgehende Stiftchen in genau gleichen Abständen von einander befestigt, so dass sie rechtwinklig gegen die beiden Oberflächen stehen und genau damit abschneiden.[1] Der Stab

[1] Hollenberg benutzte abgedrehte Stiftchen sehnigen Rundeisens, 6—7 mm stark, welche in genau ausgebohrte Löcher des erhitzten Eisenstabes eingetrieben

wird dann, nachdem ein Theil zwischen den Walzen hindurchgegangen, ein anderer Theil noch zurückgeblieben ist, der Länge nach zerschnitten, und die Formveränderung, welche jene Stiftchen erlitten haben, lässt nunmehr die stattgehabten Verschiebungen erkennen. Fig. 194 giebt ein ungefähres Bild davon. Unter dem Drucke der Walzen entsteht bei *ab*, d. h. vor dem Eintreten des Stabes, eine Verdickung; auch der austretende Stab hat nicht genau die Stärke des Abstandes der beiden Walzenoberflächen von einander, sondern ist ein wenig dicker, ein Umstand, welcher bei Herstellung von Stäben mit genau vorgeschriebenen Abmessungen Beachtung verdient.

Die Geschwindigkeit des Walzstückes ist beim Eintreten zwischen die Walzen geringer als die der Walzenoberfläche; die Reibung reicht eben nicht aus, dem Walzstücke die volle Geschwindigkeit zu ertheilen, und in der Nähe der Eintrittsstelle gleiten deshalb die Walzenoberflächen auf der Oberfläche des ersteren. Die stattfindende Streckung aber muss eine Beschleunigung der Bewegungsgeschwindigkeit des Walzstückes während des Durchganges hervorbringen, und beim Aus-

Fig. 194.



treten aus den Walzen ist daher diese Bewegungsgeschwindigkeit regelmässig grösser als die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen. Je stärker die Streckung, desto stärker ist auch dieses Voreilen des Walzstückes.

Die allgemeine Einrichtung eines Zweiwalzwerkes ist durch die Abbildung Fig. 195 veranschaulicht.[1]) *AA* sind die Walzenständer, in denen sich die Lager für die Walzenzapfen befinden, *BB* zwei Paar Kaliberwalzen. Je zwei zu einander gehörige Walzenständer bilden zusammen ein Walzgerüst und sind oben und unten durch Ankerschrauben mit einander verbunden (die unteren Anker sind in der Abbildung durch die Rippen der Grundplatte *V* verdeckt und deshalb

und somit beim Erkalten fest eingepresst wurden. Der Abstand der Stifte von einander betrug 25 mm. Durch Aetzen der nach dem Walzen hergestellten Schnittfläche wurden dann die stattgehabten Veränderungen deutlich sichtbar. Vergl. Literatur.

1) Die Abbildung stellt ein in den sechziger Jahren erbautes Luppen- oder Rohschienenwalzwerk (zum ersten Auswalzen der zuvor unter dem Hammer vorgeschmiedeten — gezängten — Luppen des Puddelverfahrens) dar. Die allgemeine Anordnung der Theile ist noch heute dieselbe.

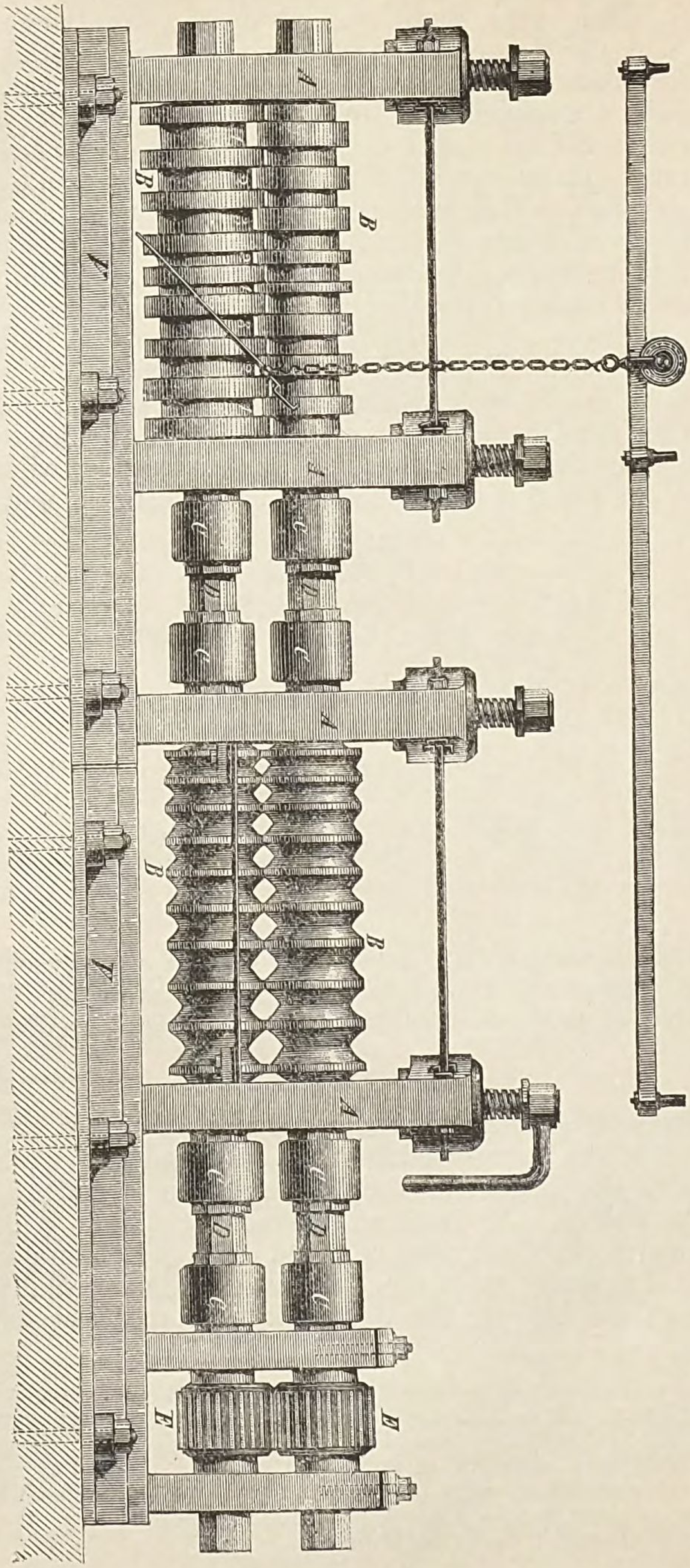


Fig. 195.

nicht sichtbar). Ein Walzwerk oder eine Walzstrecke kann unter Umständen nur ein einziges Walzgerüst mit den zugehörigen Walzen enthalten; häufiger sind, wie in der Abbildung, zwei Walzgerüste mit einander gekuppelt, und mitunter enthält die Strecke sogar drei oder noch mehr Walzgerüste. Die Verbindung der Walzen zweier benachbarter Walzgerüste unter sich, sowie der Walzen mit den Getrieben oder, wie man häufiger sich auszudrücken pflegt, Kammwalzen *E*, von welchen aus die Bewegung auf die Walzstrecke fortgepflanzt wird, erfolgt durch Kupplungen, bestehend aus Kupplungsmuffen *C* und Kupplungsspindeln *D*. Die Einschaltung solcher Kupplungsspindeln (statt einer unmittelbaren Verkupplung der betreffenden Theile) ist nothwendig, theils um den Walzen eine gewisse Veränderlichkeit der Höhenlage zu sichern, ohne dass die benachbarten Theile, insbesondere die Getriebe, bei dem Heben oder Senken der Walze in Mitleidenschaft gezogen werden. Nicht immer besitzen die verschiedenen Walzen, welche in die Walzenständer eingelegt werden und von den Getrieben aus ihren Antrieb empfangen, genau den gleichen Durchmesser; die Zähne der Getriebe würden demnach abbrechen, die Bewegungsübertragung häufig ganz unmöglich werden, wenn man die Walzen unmittelbar mit den Getrieben verbinden wollte, ohne dass der Abstand ihrer Achsen genau mit dem Abstande der Getriebeachsen von einander übereinstimmte. Die Schwierigkeit wird durch Einschaltung der Kupplungen, welche eine gewisse Beweglichkeit besitzen müssen, beseitigt.

Mit dem unteren der beiden Getriebe pflegt die Antriebswelle gekuppelt zu werden, welche entweder unmittelbar von der Betriebsmaschine aus oder, sofern mehrere Walzstrecken von derselben Maschine betrieben werden, durch Seil- oder Riemenübertragung ihre Bewegung empfängt. Zwischen Betriebsmaschine und Walzwerk erhält das Schwungrad seinen Platz. Werden mehrere Walzwerke durch dieselbe Maschine angetrieben, so erhält jedes Walzwerk sein eigenes Schwungrad.

Ein Dreiwalzwerk unterscheidet sich im Aeusseren von dem abgebildeten Zweiwalzwerke im Wesentlichen nur durch das Vorhandensein dreier Walzen in einem Walzgerüst, sowie dreier Getriebe. Der Antrieb pflegt hier von dem mittleren oder unteren Getriebe aus zu geschehen.

Bei Walzwerken der hier besprochenen Einrichtung findet die Drehung der Walzen stets in einer und derselben Richtung statt. Ist das Walzstück zwischen den Walzen hindurchgegangen und soll, um eine fernere Streckung zu erleiden, nochmals hindurchgeführt werden[1]), so muss es bei Zweiwalzwerken über die Oberwalze hinweg zurückgegeben werden, während es bei Dreiwalzwerken zwischen dem anderen Walzenpaare zurückgewalzt werden kann. Letzteres Verfahren gewährt, wie schon hervorgehoben wurde, den Vortheil einer Zeitersparung; aber in beiden Fällen, bei Zwei- und Dreiwalzwerken, ist ein Heben und Senken des Walzstückes erforderlich, wenn es nach

1) Zur Vollendung der Walzarbeit pflegen 8 bis 15 Durchgänge mit stetig fortschreitender Verkleinerung des Querschnitts erforderlich zu sein.

dem Verlassen der Walzen auf's neue hindurchgehen soll. Je grösser sein Gewicht ist, desto umfänglichere Vorrichtungen sind hierfür erforderlich.

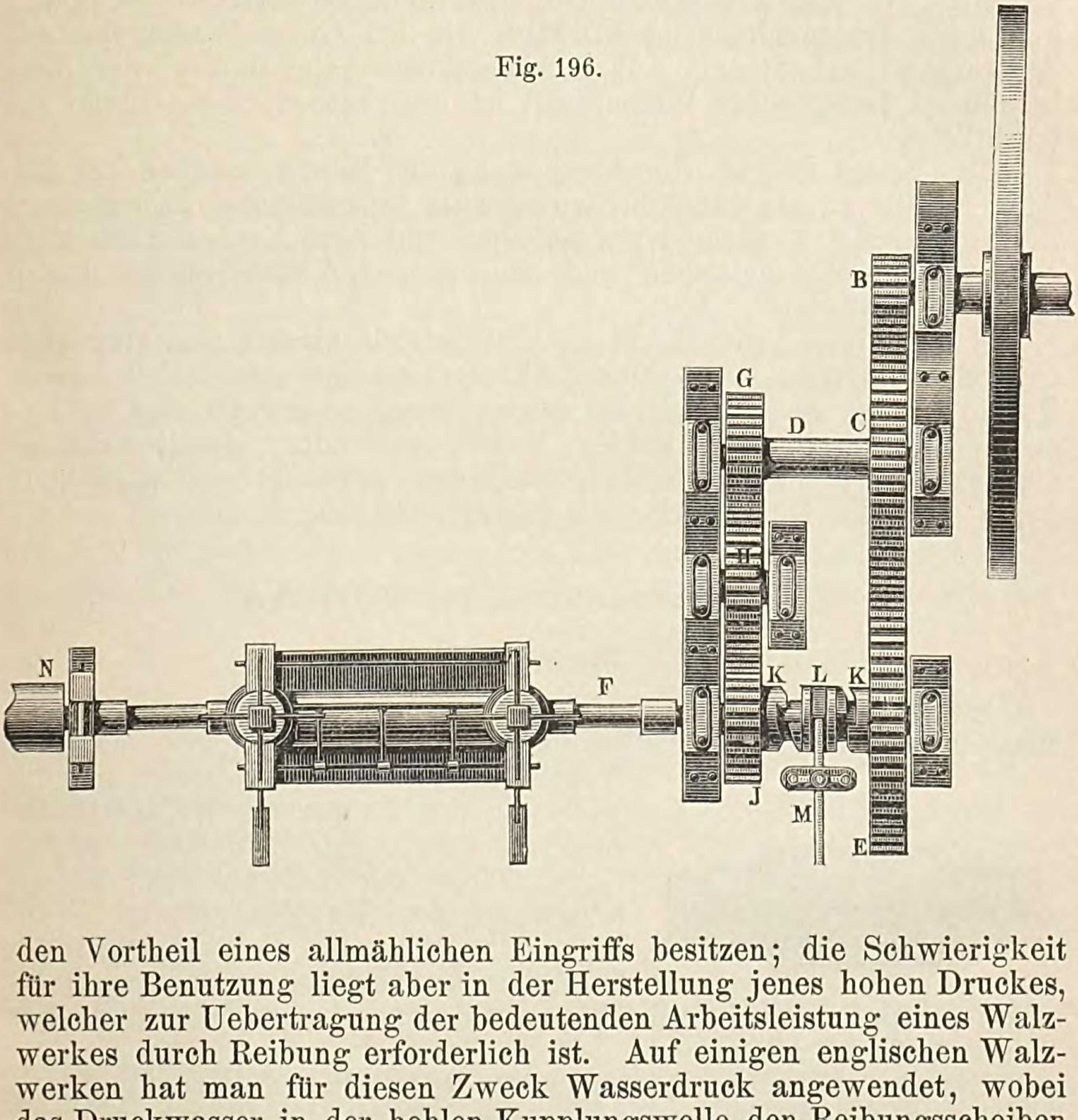
Diese Arbeit des Hebens und Senkens des Walzstückes lässt sich vermeiden, wenn man den Walzen, sobald das Walzstück sie verlassen hat, eine entgegengesetzte Drehung als zuvor ertheilt, so dass nunmehr das Walzstück wieder zurückgewalzt werden kann. Derartige Walzwerke mit abwechselnder Bewegungsrichtung heissen Kehr- oder Reversirwalzwerke.

Sie vermeiden zugleich den Nachtheil des mit dem leeren Rückgange bei Zweiwalzwerken verknüpften Zeitverlustes, sowie der ungleichen Abnutzung der Walzen bei Dreiwalzwerken, und sie würden dieser Vortheile halber ungleich häufiger in Anwendung sein, als es der Fall ist, wenn nicht mit der Umkehr der Bewegung auch ein erhöhter Arbeitsverbrauch verknüpft wäre. In den sich drehenden Theilen des Walzwerkes ist eine beträchtliche lebendige Kraft enthalten, welche bei dem plötzlichen Stillstande vernichtet und bei dem Beginne der entgegengesetzten Drehung von Neuem erzeugt werden muss. Eine Umsteuerung des Schwungrades aber würde seiner eigentlichen Bestimmung geradezu widersprechen; ohne sehr lange Pausen zwischen den einzelnen Durchgängen würde sie überhaupt unausführbar sein.

Nun lässt sich allerdings eine Einrichtung treffen, welche eine Umsteuerung des Walzwerkes ermöglicht, ohne dass auch das Schwungrad seine Bewegung ändert. Die Abbildung Fig. 196 lässt den Grundsatz einer solchen Anordnung erkennen. Auf der rechts sichtbaren Schwungradwelle sitzt das kleine Getriebe *B*, welches im Eingriffe mit dem grösseren Getriebe *C* steht. Von hier aus kann die Bewegung in zweierlei Weise auf die Triebwelle des Walzwerkes fortgepflanzt werden; erstens mit einmaliger Uebersetzung durch das mit *C* im Eingriffe stehende Rad *E*; zweitens mit zweimaliger Uebersetzung durch die Räder *G H J*. Offenbar laufen die beiden Räder *E* und *J* in entgegengesetzter Richtung; und so wird die Welle *F* in verschiedener Richtung sich drehen, je nachdem die Bewegungsübertragung durch das eine oder andere dieser Räder erfolgt. Damit die entgegengesetzte Drehung der genannten Räder überhaupt möglich sei, müssen sie lose auf ihrer Welle sitzen, und es kommt also darauf an, abwechselnd das eine und das andere so mit der Welle zu kuppeln, dass diese nunmehr die Bewegung des Rades annimmt, während das zweite Rad unverändert in seiner Drehungsrichtung beharrt. Zu diesem Zwecke sind Klauen *K K* an den Naben beider Räder angegosssen, und zwischen ihnen sitzt, auf der Welle durch Nuth und Feder verschiebbar befestigt, die Klauenmuffe *L*, welche vermittelst eines langen Hebels *M* sowohl nach links als rechts verschoben und hierdurch mit einer der beiden Klauen *K* in Eingriff gebracht werden kann. Da die Triebwelle *F* mit der Muffe *L* durch eine Feder verbunden ist, also auch jede Drehung derselben mitmachen muss, wird sie sofort in der Richtung des betreffenden Rades sich drehen, sobald Einrückung erfolgt ist; beim Ausrücken tritt Stillstand ein, beim Einrücken in das zweite Rad entgegengesetzte Drehung.

Durch eine derartige Umsteuerungsvorrichtung würde also der Hauptnachtheil aller Kehrwalzwerke, der Verlust an geleisteter mechanischer Arbeit, auf ein geringes Maass beschränkt werden; der Anwendung dieser Einrichtung aber stellt sich die Schwierigkeit entgegen, eine Kupplung herzustellen, welche den heftigen Stössen beim Einrücken den nöthigen Widerstand entgegensetzt. Klauenkupplungen der abgebildeten Art, welche in früherer Zeit hierfür benutzt wurden, erwiesen sich auch in den stärksten Abmessungen nicht als zuverlässig genug. Günstiger verhalten sich Reibungskupplungen, welche

Fig. 196.



den Vortheil eines allmählichen Eingriffs besitzen; die Schwierigkeit für ihre Benutzung liegt aber in der Herstellung jenes hohen Druckes, welcher zur Uebertragung der bedeutenden Arbeitsleistung eines Walzwerkes durch Reibung erforderlich ist. Auf einigen englischen Walzwerken hat man für diesen Zweck Wasserdruck angewendet, wobei das Druckwasser in der hohlen Kupplungswelle den Reibungsscheiben zugeführt wurde.[1]) Eine ausgedehntere Anwendung hat diese Einrichtung nicht gefunden, woraus man folgern darf, dass sie sich nicht bewährte.

Es bleibt noch ein zweiter Ausweg zur Vermeidung einer Um-

1) Näheres in den unter Literatur genannten Abhandlungen.

steuerung des Schwungrades: Anlage eines Walzwerkes ohne Schwungrad mit Umsteuerung der Betriebsmaschine.

Thatsächlich bildet diese Einrichtung die Regel für die Anlage von Kehrwalzwerken in Rücksicht auf die unleugbaren Schwächen, welche die geschilderte Einrichtung eines Kehrwalzwerkes mit Schwungrad besitzt. Das Schwungrad eines Walzwerkes aber ist der Sammler für die von der Betriebsmaschine während des Leerganges des Walzwerkes verrichtete Arbeit, und bei dem Durchgange des Arbeitsstückes wird nunmehr die im Schwungrade inzwischen aufgespeicherte Arbeit nutzbar gemacht. Fehlt das Schwungrad, so hat die Betriebsmaschine die volle Arbeit beim Durchgange des Walzstückes zu liefern und muss dementsprechend kräftiger als bei einem Walzwerke mit Schwungrad gebaut sein. Ihre Anlagekosten sind höher, der Verbrauch an Dampf oder Wasserkraft ist auch aus diesem Grunde beträchtlicher.

Man pflegt deshalb die Anwendung der Kehrwalzwerke auf diejenigen Fälle zu beschränken, wo schwere Arbeitsstücke, insbesondere Bleche, gewalzt werden, deren Anheben und Zurückgeben nicht ohne umfangreiche Vorrichtungen und ohne grossen Zeitverlust zu ermöglichen sein würde.

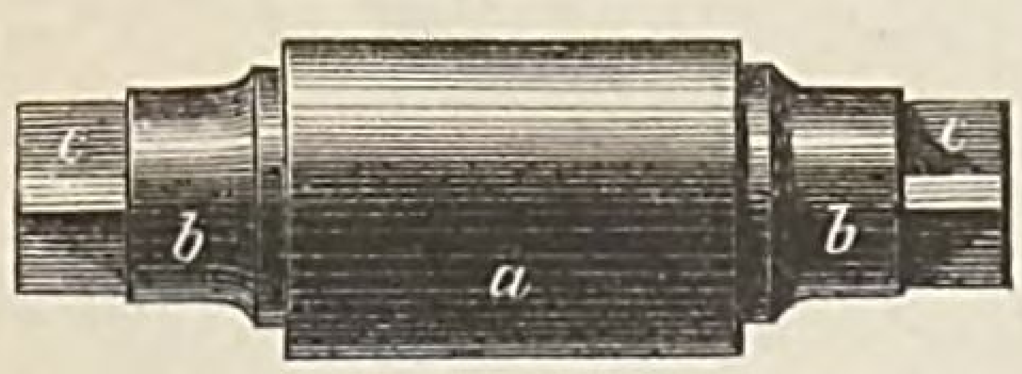
Benutzt man Dampfkraft für den Betrieb eines Kehrwalzwerkes ohne Schwungrad, so ist eine Zwillingsmaschine erforderlich, deren Kurbeln unter rechtem Winkel gegen einander gestellt sind.[1]) Expansion ist nur in beschränktem Maasse anwendbar, damit nicht die Umsteuerung an bestimmte Kurbelstellungen gebunden sei; auch hierdurch wird der Dampfverbrauch verhältnissmässig hoch.

b) Die einzelnen Theile des Walzwerkes.

Die Walzen.

Sie werden aus Gusseisen oder Gussstahl gefertigt. Den in der Mitte befindlichen Haupttheil *a* der Walze (Fig. 197) nennt man den Walzenbund; an diesen schliessen sich die beiden in den Lagern der Walzenständer ruhenden Laufzapfen *b*, und die beiden Enden werden durch die aus den Ständern herausragenden Kupplungszapfen *c* gebildet, welche zum Ueberschieben der Muffe bestimmt sind und gegliederten Querschnitt erhalten, damit sie die Bewegung zu übertragen fähig sind, ohne in der Muffe zu gleiten.

Fig. 197.



Die Grundform des Walzenbundes ist in allen Fällen cylindrisch. Auch für Kaliberwalzen giebt man dem Bunde beim Giessen zunächst Cylinderform und dreht später die Kaliber ein; nur bei den allergröbsten Walzen giebt man schon von vornherein eine Andeutung der Kaliber beim Giessen, um die Arbeit des Eindrehens abzukürzen und den Materialverlust durch Zerspanung abzumindern.

1) Neuerdings werden auch Drillingsmaschinen benutzt. Näheres „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 183.

Die Verhältnisse, von denen der Durchmesser der Walzen abhängig ist, wurden schon oben erörtert. Je rascher die Streckung vor sich gehen soll und je dünner die Walzstücke sind, desto geringer kann der Walzendurchmesser sein. Mit dem Durchmesser verringern und erhöhen sich das Gewicht, die Herstellungskosten und die Zapfenreibung. Versuche, die Walzen hohl zu giessen, um bei bestimmtem Durchmesser ein geringeres Gewicht zu erhalten, sind bis jetzt auf vereinzelte Fälle beschränkt geblieben. Es ist zu befürchten, dass die Widerstandsfähigkeit der Walzenzapfen gegen das Abbrechen durch das Hohlgiessen allzu sehr beeinträchtigt werden würde.

Nur ausnahmsweise findet man bei den Eisenwalzwerken geringere Walzendurchmesser als 200 mm und grössere als 1200 mm.

Je grösser der Walzendurchmesser ist, desto grösser kann auch die Länge des Walzenbundes sein, ohne dass die Gefahr für das Abbrechen der Walze oder für eine starke Durchbiegung allzu nahe tritt. Bei Blechwalzwerken ist diese Länge zugleich von der Breite der zu walzenden Bleche abhängig, und bei sehr breiten Blechen muss dieser Umstand mitunter auch für den Walzendurchmesser den Ausschlag geben, damit die lange Walze nicht zu schwach ausfalle; bei Kaliberwalzen kommt die Anzahl und Breite der Kaliber in Betracht, welche die Walze erhalten soll. Gewöhnlich schwankt, entsprechend diesen verschiedenen Verhältnissen, die Bundlänge der Eisenwalzen zwischen 500 mm bei den kleinsten und 4000 mm bei den grössten und im Durchmesser stärksten Walzen.[1])

Bei Kaliberwalzen pflegt man die am tiefsten eingeschnittenen Kaliber in die Nähe der Walzenzapfen zu verlegen, wo sie am wenigsten die Festigkeit der Walze gegen das Abbrechen beeinträchtigen.

Für die Bemessung des Zapfendurchmessers giebt Hauer die Formel

$$d = 0{,}54\ D \text{ bis } 0{,}60\ D,$$

worin d den Zapfen- und D den Walzendurchmesser bezeichnet. Die Länge l der Lagerschalen ist durchschnittlich $l = \frac{D}{2}$; für die gesammte Länge des Laufzapfens giebt man dieser Abmessung noch 10—20 mm zu.

Den Durchmesser der Kupplungszapfen nimmt man bei kleinen Walzen um einige Millimeter, bei sehr grossen Walzen um mehrere Centimeter kleiner als den der Laufzapfen; die Länge der Kupplungszapfen pflegt 0,7—0,9 ihres Durchmessers zu betragen.

Die Walzenständer nebst Zubehör.

Die Ständer werden durch je einen starken gusseisernen, seltener aus Stahl gegossenen Rahmen gebildet, in welchem die Lager der zwei oder drei Walzen in geeigneter Weise befestigt sind.

Das Lager der Unterwalze ruht in jedem Falle im Fusse des Ständers und besteht nur aus der unteren Lagerhälfte, da ein Anheben der Unterwalze aus ihrem Lager durch den von oben her wirkenden

1) Eine Bundlänge von 4000 mm besitzen die Walzen des Panzerplattenwalzwerks von Fr. Krupp in Essen.

Druck von selbst ausgeschlossen ist. Anders ist die Lagerung der Oberwalze. Auf die Oberwalze wirkt von unten her der Widerstand des zwischen den Walzen hindurchgehenden Walzstückes und strebt, sie emporzudrücken. Das Lager muss demnach zweitheilig und von oben her gegen jenes Empordrücken geschützt sein. Man pflegt sich dazu einer durch den Kopf des Ständers hindurchgehenden Druckschraube (in Fig. 195, sowie in den unten gegebenen Abbildungen von Walzenständern erkennbar) zu bedienen, welche auf das Oberlager drückt und es in seiner Lage festhält.

Hinsichtlich der Art und Weise aber, wie das Zapfenlager mit der darin ruhenden Oberwalze getragen wird, lassen sich zwei verschiedene Anordnungen unterscheiden.

Bei den meisten Kaliberwalzen sollen die Kaliber der beiden zu einander gehörigen Walzen genau auf einander schliessen, also die beiden Walzenachsen einen ganz bestimmten Abstand von einander erhalten. Jedes einzelne Kaliber dient eben nur zur Ausbildung einer ganz bestimmten Querschnittsform, eine Näherung oder Entfernung der Walzen während der Arbeit findet nicht statt. Es kommt also darauf an, die Lagerung der Walzen so einzurichten, dass sie durch Anziehen der Druckschraube ohne Weiteres in die richtige Stellung gebracht werden.

Bei Zweiwalzwerken pflegt man diesen Walzenständern für Walzen mit unveränderlichen Kalibern die in Fig. 198—201 gezeichnete Einrichtung zu geben.[1]) Das Oberwalzenlager besteht aus den zwei Hälften *c* und *d*, in denen die aus Rothguss oder Hartblei gefertigten Lagerpfannen eingelassen sind, und ist an den zwei Bolzen *h h* aufgehängt, welche durch Bohrungen beider Lagerhälften wie des Ständers hindurchgehen und oben durch Schraubenmuttern getragen werden. Durch Drehung dieser Schraubenmuttern lässt sich die Höhenlage des Lagers und der Walze genau regeln. *e* ist die schon erwähnte Stell- oder Druckschraube, oben mit vierkantig geschmiedetem Kopfe zum Aufstecken eines Schlüssels versehen (in der Abbildung Fig. 195 auf Seite 736 ist der Schlüssel an dem rechtsseitig befindlichen Ständer sichtbar), durch dessen Drehung die Schraube wieder in ihre richtige Stellung zurückgedreht wird, wenn sie beim Durchgange des Walzstückes etwas emporgedreht sein sollte. *f* ist die zugehörige Schraubenmutter aus Eisen oder Bronze.

Zwischen Druckschraube und Oberlager schaltet man eine sogenannte Brechkapsel *i* ein, aus einem kastenartigen Gussstücke bestehend, welches zertrümmert wird und hierdurch den Walzenzapfen vor dem Abbrechen schützt, wenn einmal ein ausnahmsweise heftiger Stoss oder Druck zwischen den Walzen erzeugt werden sollte.

m ist das offene Unterlager, dessen Höherstellung durch untergeschobene Keile geregelt werden kann.

Der Walzenständer *a* wird fast immer in einem einzigen Stücke gegossen. Seine Füsse sind an der unteren Seite mit Arbeitsleisten versehen, welche behobelt werden und mit denen er auf entsprechenden

1) Die Abbildung zeigt einen Walzenständer aus den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts, wie er noch heute bei zahlreichen Walzwerken gefunden wird. Auf Abweichungen in den Einzelheiten, welche bei neueren Walzwerken eingeführt wurden, wird später besonders aufmerksam gemacht werden.

Arbeitsleisten der Sohlplatte aufruht. An der den Walzen zugekehrten Seite sind Falze *tt* (Fig. 201) ausgespart, in welche die Lager mit angegossenen Vorsprüngen eingreifen, um vor Verschiebung nach aussen geschützt zu sein, während sie an der Innenseite durch die Walzen selbst in ihrer Lage festgehalten werden. Bei Walzwerken für feinere Eisensorten freilich pflegt man durch Schrauben, welche bei *tt* durch den Ständer hindurchgehen und deren Enden gegen die Vorsprünge der Lager drücken, die Stellung der letzteren noch genauer festzustellen.

Fig. 198.

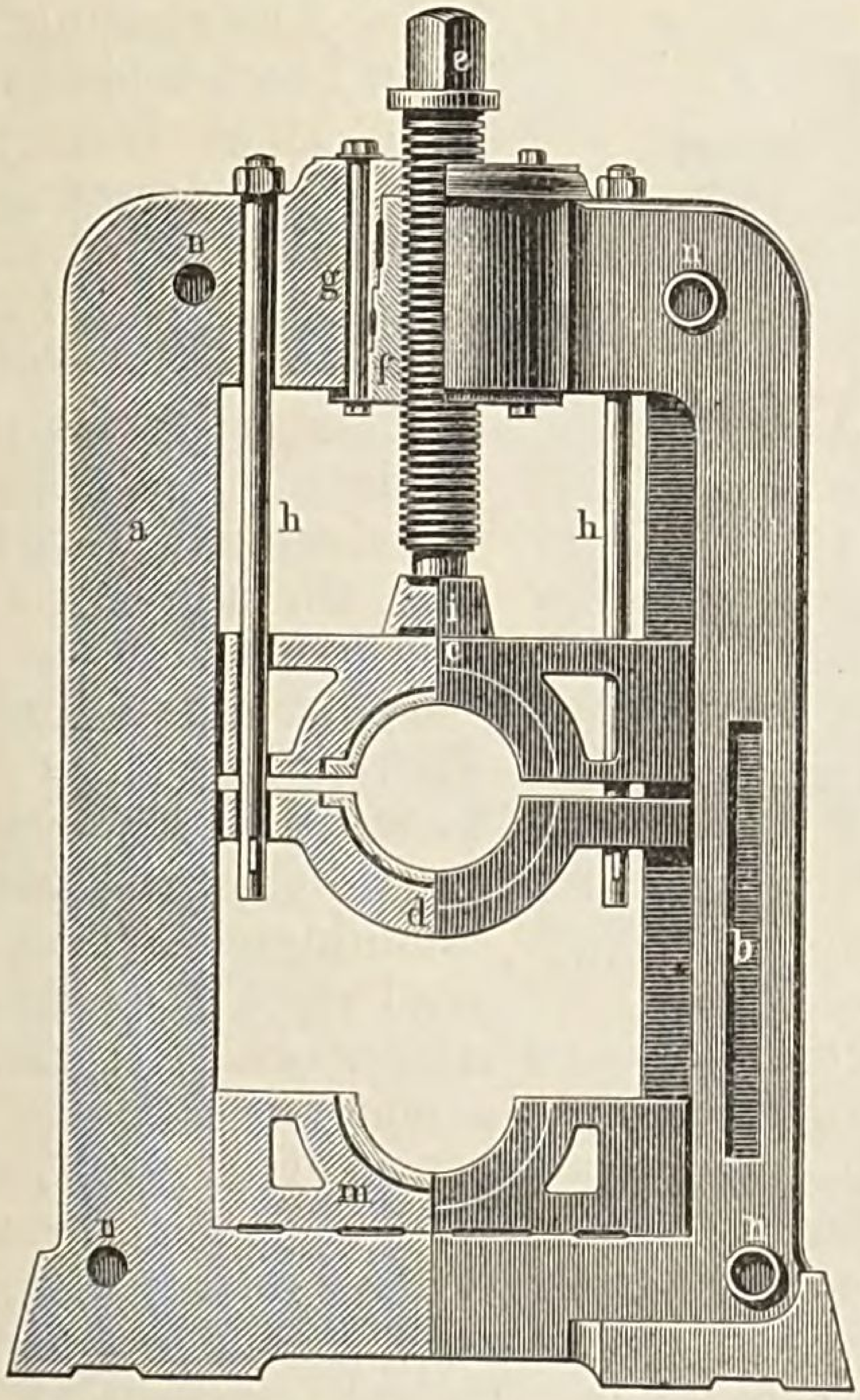


Fig. 199.

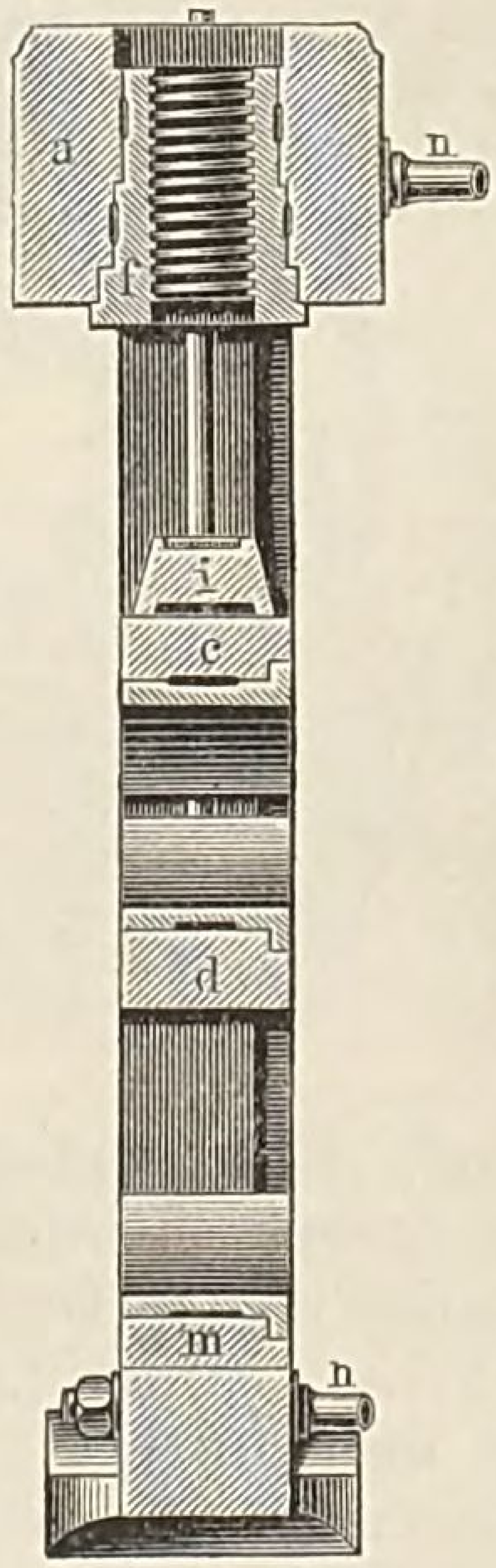


Fig. 200.

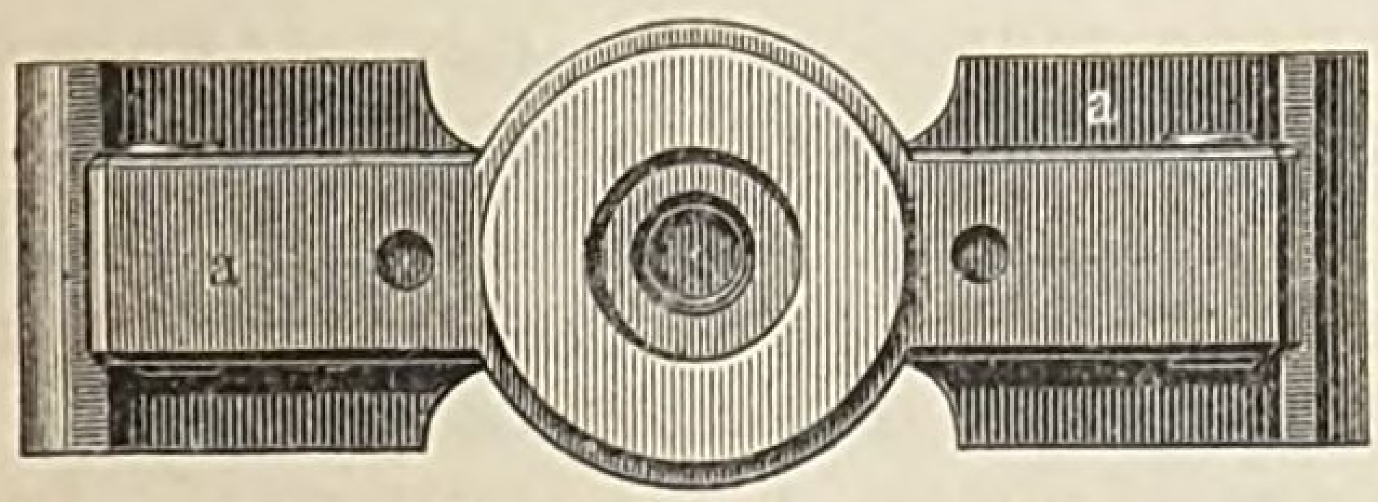
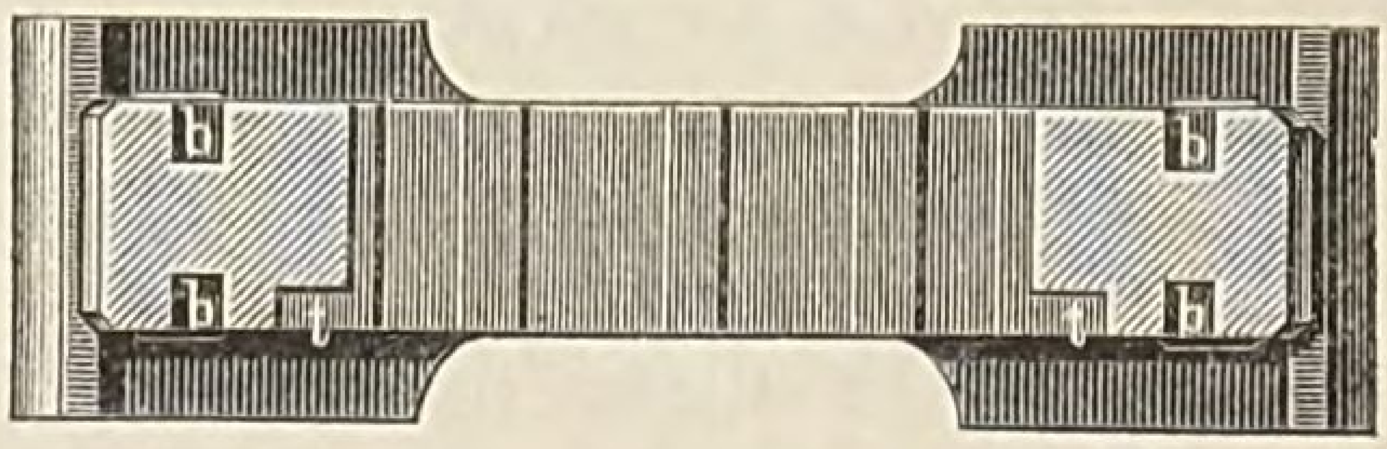


Fig. 201.

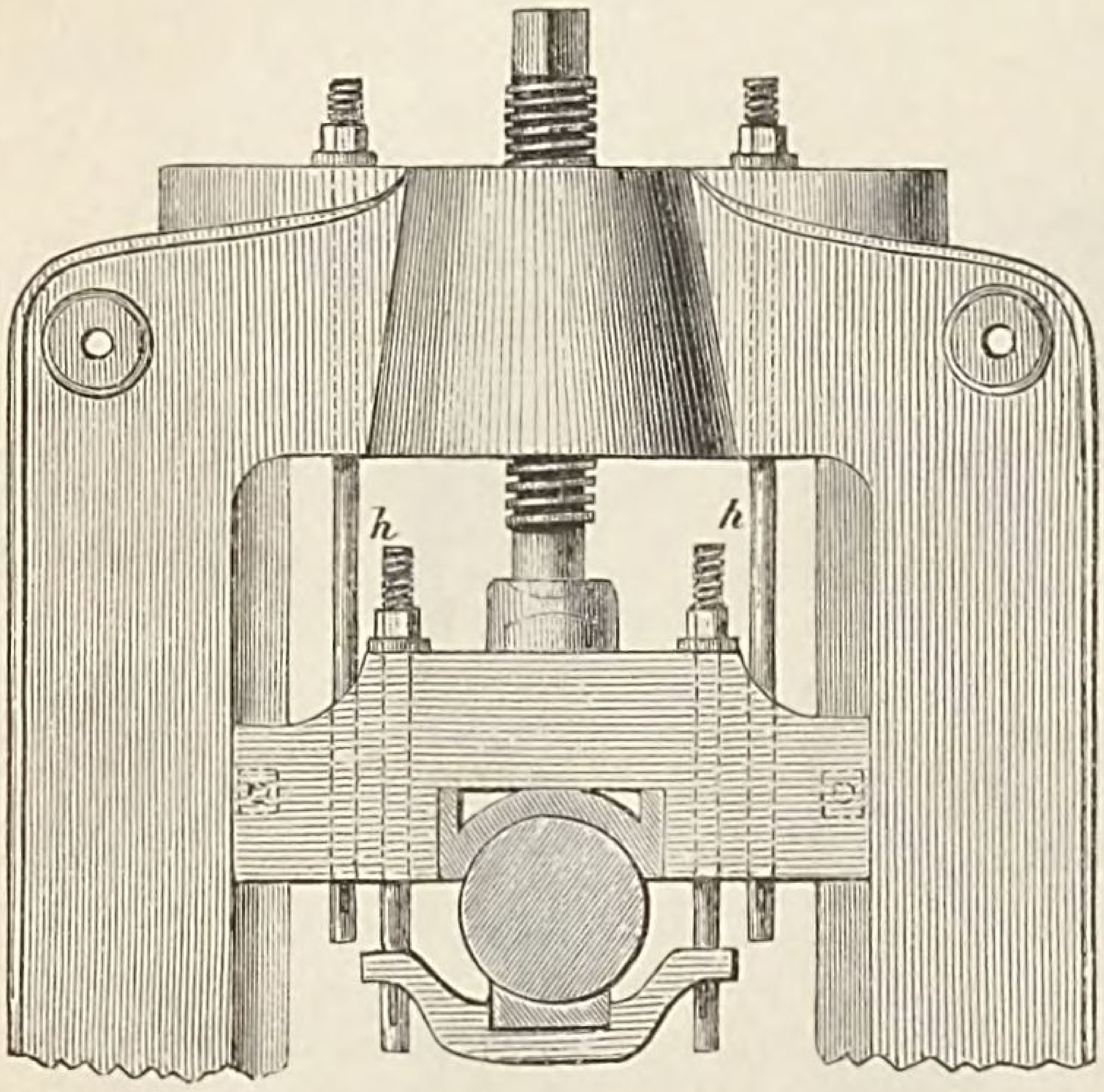


nn sind durchgehende Löcher für die schon erwähnten Verbindungsschrauben zweier zu einander gehörenden Ständer, *bb* sind eingegossene Nuthen, zur Befestigung von Eisenstäben dienend, welche, von einem zum andern Ständer hinüberreichend, einen Bestandtheil der Vorrichtungen für die Unterstützung des Walzstückes vor und nach dem Hindurchgehen bilden.

Bei einer Lagerung der Oberwalze wie in Fig. 198 wird die Zapfenreibung der Oberwalze um so grösser, je stärker man die Stell-

schraube *e* anzieht, um eine genaue Lagerung zu erzielen. Dieser Nachtheil fällt weg, wenn man der Lagerung eine Einrichtung giebt, wie sie in Fig. 202 dargestellt und bei neueren Walzwerken vielfach zur Anwendung gekommen ist.[1]) Hier hängt nur die obere Hälfte des Lagers an den Schrauben *h*, und die untere Hälfte ist mit besonderen Schrauben an dieser befestigt. Offenbar bleibt nunmehr der von der Druckschraube ausgeübte Druck vollständig ohne Einfluss auf die Zapfenreibung.

Fig. 202.



Eine andere bei neueren Walzwerken gebräuchliche Abweichung von der oben beschriebenen Einrichtung eines Walzenständers ist das Weglassen der Falze *t* (Fig. 201), gegen welche die Vorsprünge der Lager sich stemmen. Die Feststellung der Lager erfolgt in diesem Falle durch Spannbügel, welche eine genaue Regelung der Stellung ermöglichen. Die Abbildungen Fig. 203 bis 205, welche zugleich die Einrichtung eines grösseren Dreiwalzenständers veranschaulichen[2]), lassen jene Anordnung erkennen. *aa* ... sind die schmiedeeisernen Spannbügel. Ein durch den Ständer hindurchgesteckter Bolzen, dessen vierkantig geschmiedeter Kopf an der gegenüberliegenden Seite in einer entsprechenden Oeffnung festgehalten wird, geht durch die Mitte des Bügels und trägt ausserhalb eine Schraubenmutter, durch deren Anziehen das eine Ende des Bügels gegen das Lager gedrückt wird.

Bei allen Dreiwalzenständern muss zur Vermeidung übermässiger Reibungsverluste auf eine Einrichtung Bedacht genommen werden, durch welche der beim Hindurchgehen des Walzstückes ausgeübte Druck auf die Druckschraube übertragen werde, ohne dass dadurch auch die Zapfen der dritten Walze in Mitleidenschaft gezogen werden. Der Zweck kann erreicht werden, indem man die Lager aus Einbaustücken bestehen lässt, welche eins von dem andern getragen werden, so dass durch diese der Druck übertragen wird. Der Abstand der Lager von einander wird durch eingeschobene Keile geregelt. In verschiedener Weise lässt sich diese Anordnung bewerkstelligen. Bei dem in Fig. 203 abgebildeten Ständer ist das Unterlager, welches hier ebenso wie bei Zweiwalzwerken nur aus einer Hälfte besteht, ohne Weiteres mit dem Ständer in einem Stücke gegossen, welche Einrichtung zulässig ist, wenn die Welle der Antriebsmaschine mit dem unteren

1) Nach R. M. Daelen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1872, Seite 661.
2) „Stahl und Eisen“ 1881, Seite 2, Blatt 4.

(statt dem mittleren) Getriebe gekuppelt ist. Die Lagerschale wird dann durch untergeschobene Keile höher oder niedriger gestellt. Die untere Hälfte des Mittelwalzenlagers wird vom Ständer getragen und ihre

Fig. 203.

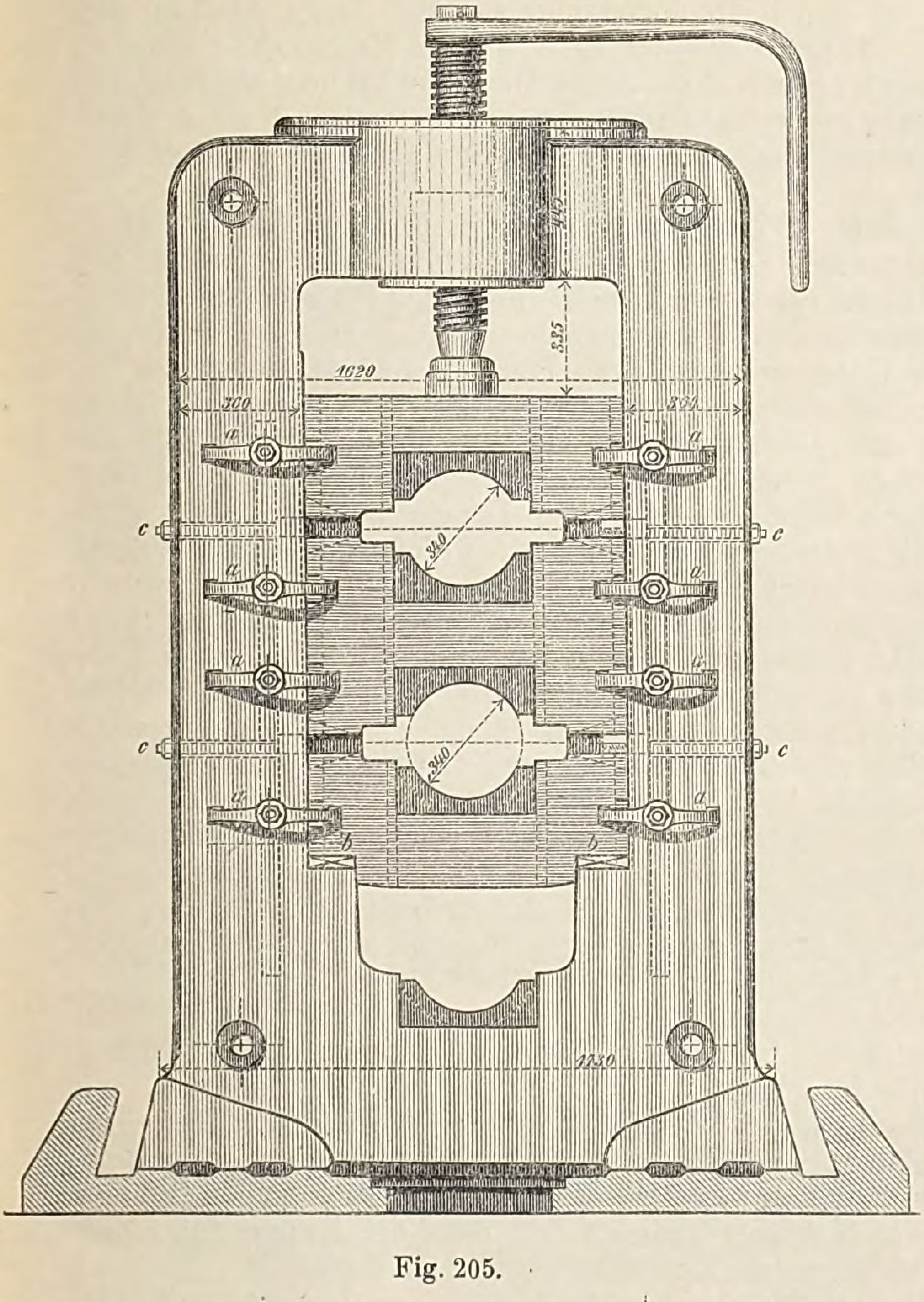


Fig. 204.

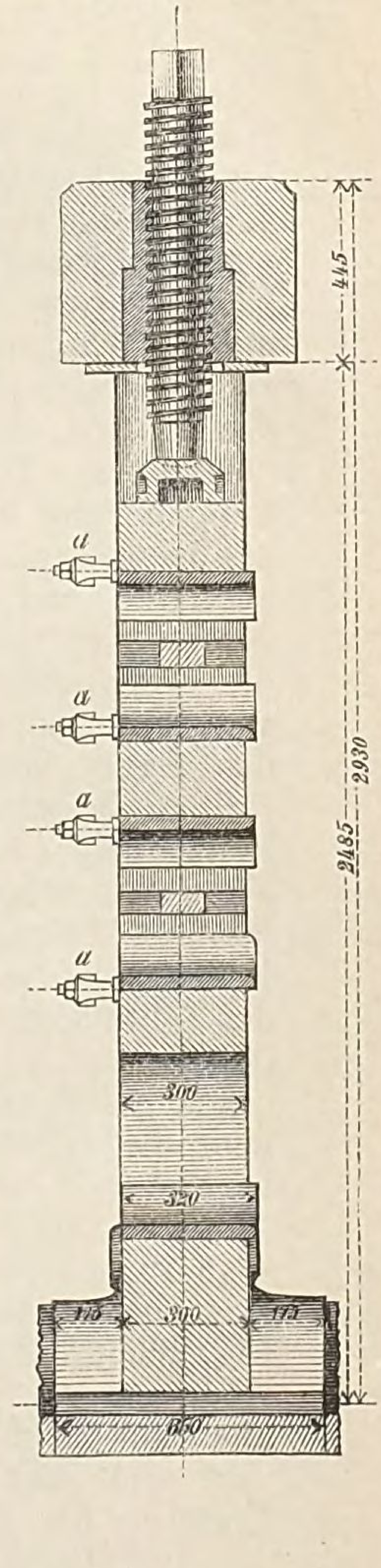
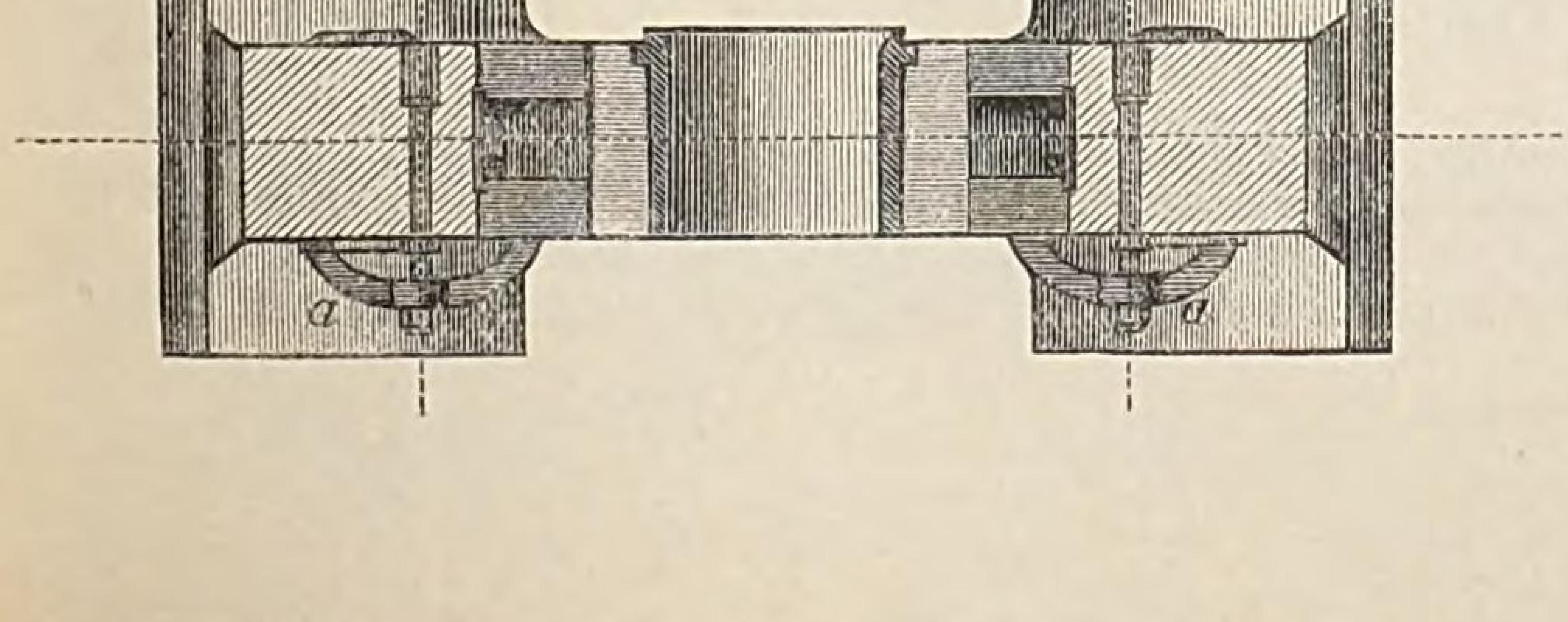


Fig. 205.



Höherstellung wird durch Keile (bei *b b*) geregelt. Der Zapfen der Unterwalze bleibt mithin unbeeinflusst, wenn zwischen Ober- und Mittelwalze ein Arbeitsstück hindurchgeht. Das Oberlager der Mittelwalze und das Unterlager der Oberwalze bestehen aus einem Stücke; auf diesem ruht oben das Obertheil des Oberwalzenlagers. Zwischen die getrennten Theile kommen Einlegestücke, welche den Druck von dem einen zum andern fortpflanzen und zugleich ihren Abstand von einander regeln. Mitunter benutzt man hierfür Holzstücke; genauer lässt sich eine Regelung bewirken, wenn man, wie bei dem abgebildeten Ständer, Stahlkeile anwendet, an Bolzen *c c* befestigt, welche durch den Ständer hindurchgehen und durch Mutter und Gegenmutter festgehalten werden.

In etwas anderer Weise ist bei dem in Fig. 206 bis 209 abgebildeten Erdmannschen Dreiwalzenständer[1]) die Aufgabe gelöst, den zwischen den Walzen erzeugten Druck durch den Ständer statt durch den dritten, leergehenden Walzenzapfen auf die Druckschraube zu übertragen. Die Unterwalze ist auch hier mit der Antriebswelle gekuppelt und im Ständer fest gelagert. Das Oberwalzenlager ist in ähnlicher Weise am Ständerkopfe aufgehängt als das in Fig. 202 abgebildete und oben beschriebene Oberwalzenlager eines Zweiwalzwerkes; um jedoch beim Verstellen der Druckschrauben nicht auch die Hängeschrauben verstellen zu müssen, welche das Lager tragen, sind Bufferfedern *a a* unter die Muttern dieser Schrauben gelegt, welche das Lager fest gegen die Druckschrauben pressen. Das aus zwei Hälften bestehende Lager der Mittelwalze nun wird von zwei Paar Stützhebeln *b b*, *b b* in seiner Lage festgehalten, welche durch Schlitze des Ständers hindurchgehen. Ihre Enden ruhen, wie Fig. 206 erkennen lässt, auf Schrauben, die innerhalb zweier an den Ständer angegossener Führungen verstellbar sind. Die Verstellung wird durch Drehung der Schraubenmuttern bewirkt. Auf diese Weise lässt sich das Lager mit grosser Genauigkeit höher oder tiefer einstellen, und der Zapfendruck wird durch die Stützhebel auf den Ständer übertragen. Ein über die Schraubenmuttern geschobener Bügel (in Fig. 206 links und in Fig. 209 erkennbar) verhindert ihre selbstthätige Drehung.

Die Abbildungen können zugleich als Beispiel eines nicht in einem, sondern in zwei Stücken gegossenen Ständers (Kappenständers) dienen. Der obere Theil *c* (die Kappe) ist durch Bolzen mit Splinten, wie Fig. 206 erkennen lässt, mit dem Haupttheile verbunden. Das Auswechseln der Walzen und Einbaustücke wird hierdurch erleichtert; aber man zieht trotzdem gewöhnlich die im Ganzen gegossenen Rahmen vor, weil hier die Gefahr vermieden ist, dass die Kappe unter dem Einflusse der stattfindenden Erschütterungen sich lockere.[2])

In Fig. 210 und 211[3]) ist endlich noch der Dreiwalzenständer eines Feineisenwalzwerkes abgebildet, dessen Einrichtung zwar im Wesentlichen der Einrichtung des in Fig. 203 bis 205 dargestellten

1) Von der Duisburger Maschinenbau-Actiengesellschaft gebaut.

2) Eine noch etwas andere Form der Erdmannschen Walzenständer ist in „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 480 beschrieben und abgebildet.

3) Ständer des Feineisenwalzwerkes im Eisenwerk Phönix. „Stahl und Eisen“ 1882, Heft 5, Taf. II.

Erdmanns Dreiwalzen-Ständer.

Fig. 206.

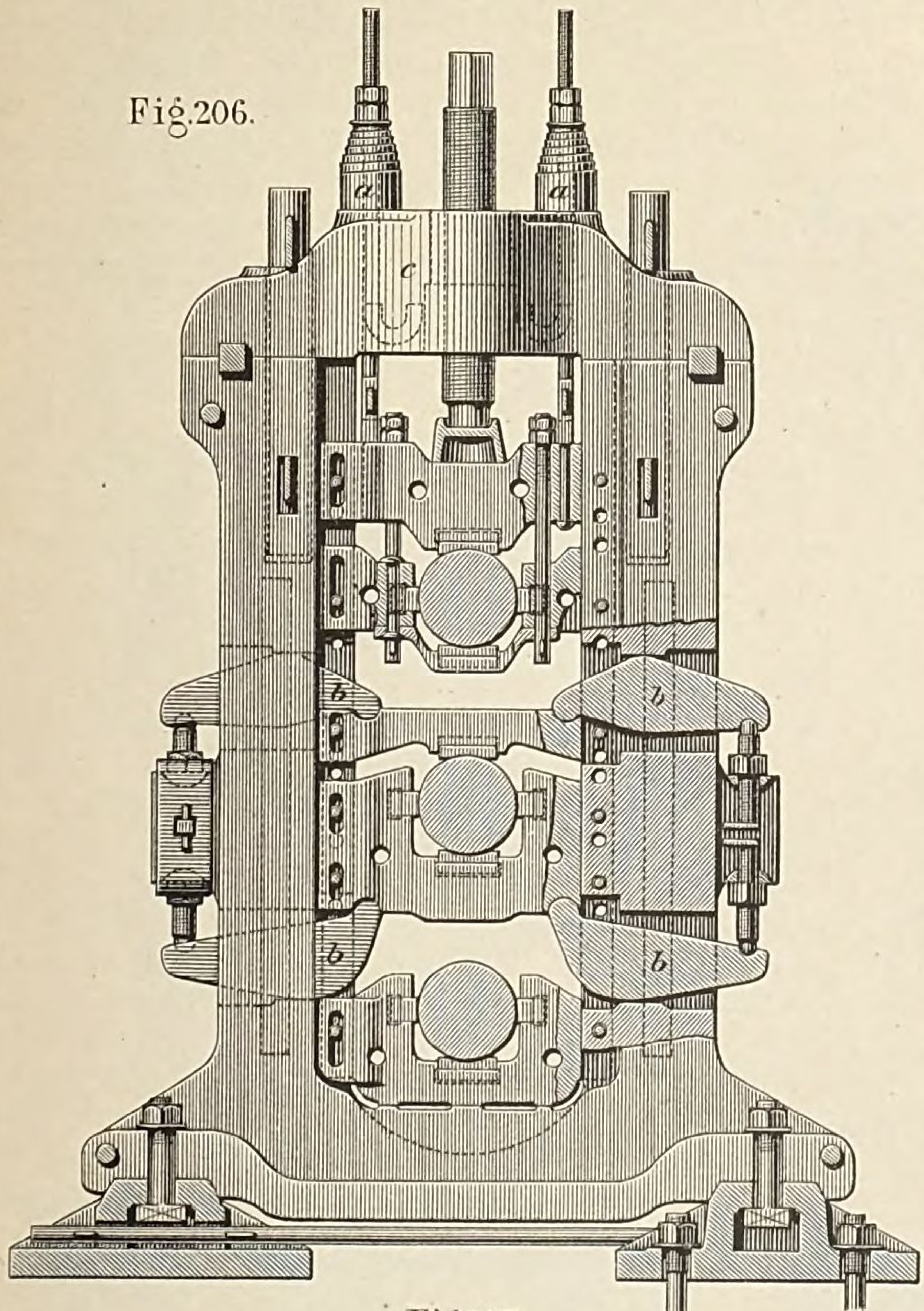


Fig. 209.

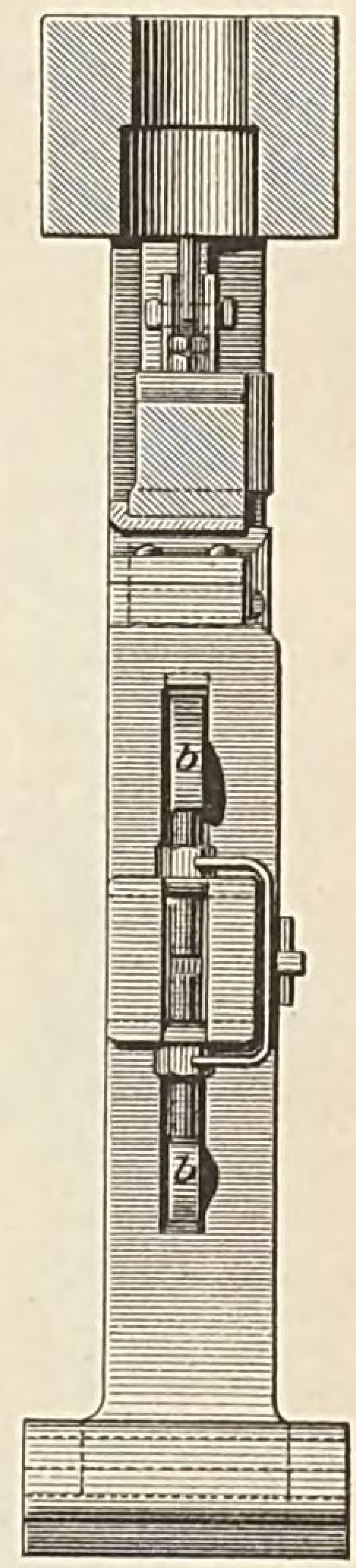


Fig. 207.

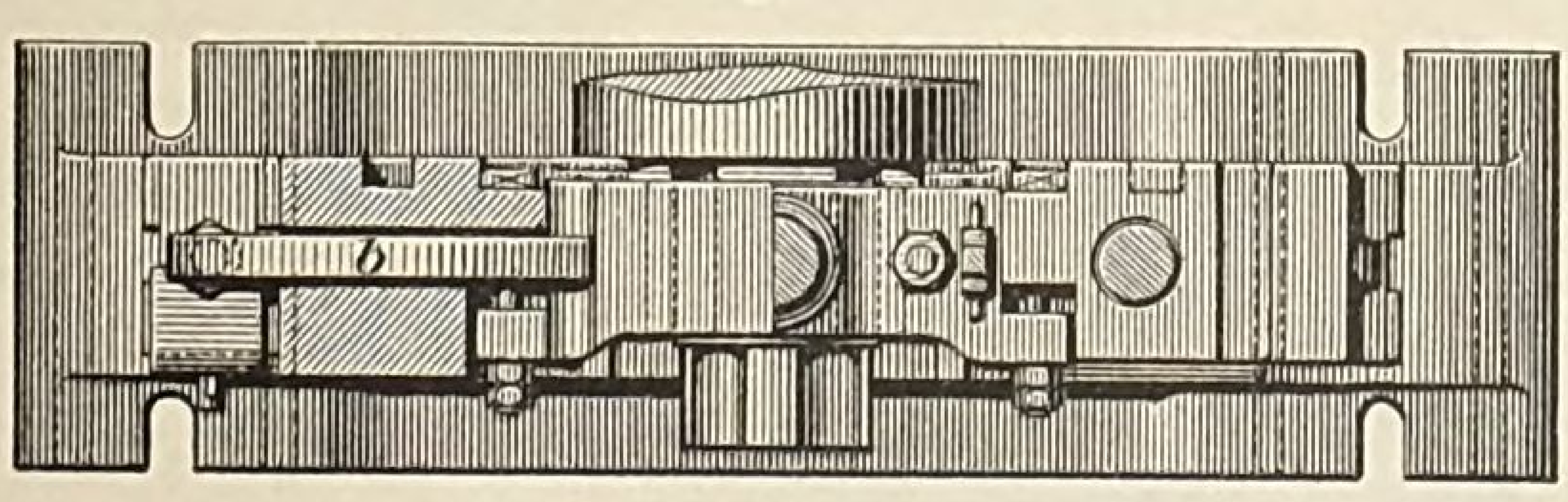
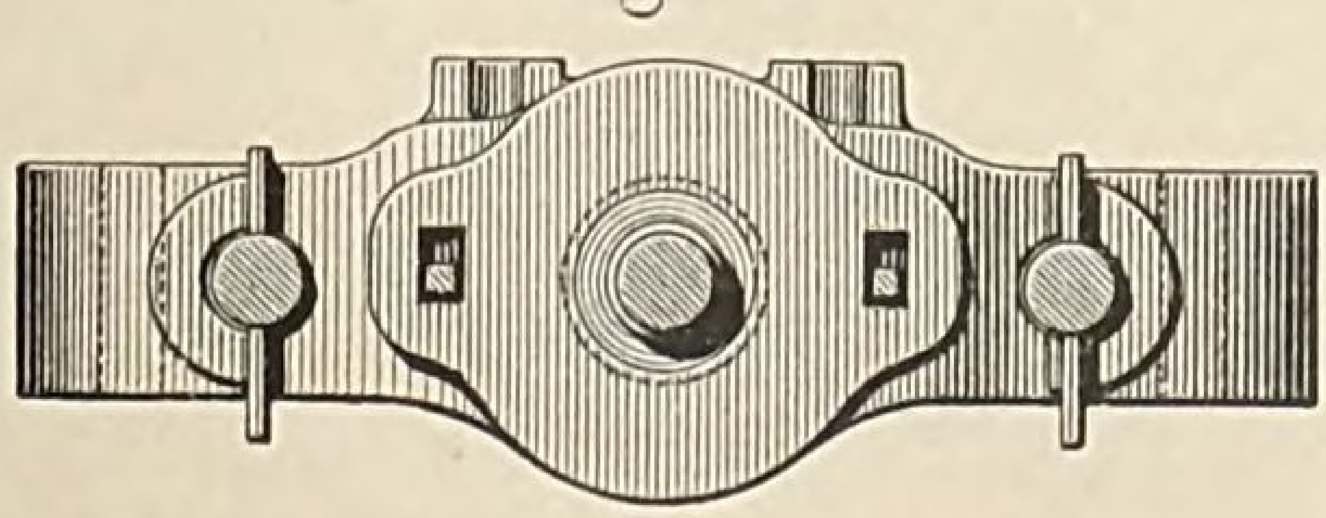


Fig. 208.



1/30
der wirklichen
Grösse.

Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.
Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Schienenwalzenständers ähnlich ist, in den Einzelheiten aber doch verschiedene Abweichungen erkennen lässt. Sämmtliche Lager werden auch hier durch Spannbügel in der Achsenrichtung eingestellt und festgehalten. Bei Fig. 210 sind die Spannbügel an der dem Beschauer abgewendeten Seite des Ständers befindlich, und man sieht daher nur die vierkantigen Köpfe *a a* ... der Schraubenbolzen, welche durch die Ständer hindurchgehen und die Stellung der Bügel vermitteln. Durch Punkte sind übrigens die Stellen angedeutet, wo die Füsse der Bügel auf dem Ständer und den Lagern aufliegen. Das Lager der Unterwalze ist verstellbar, da die Betriebsmaschine des Walzwerkes

Fig. 210.

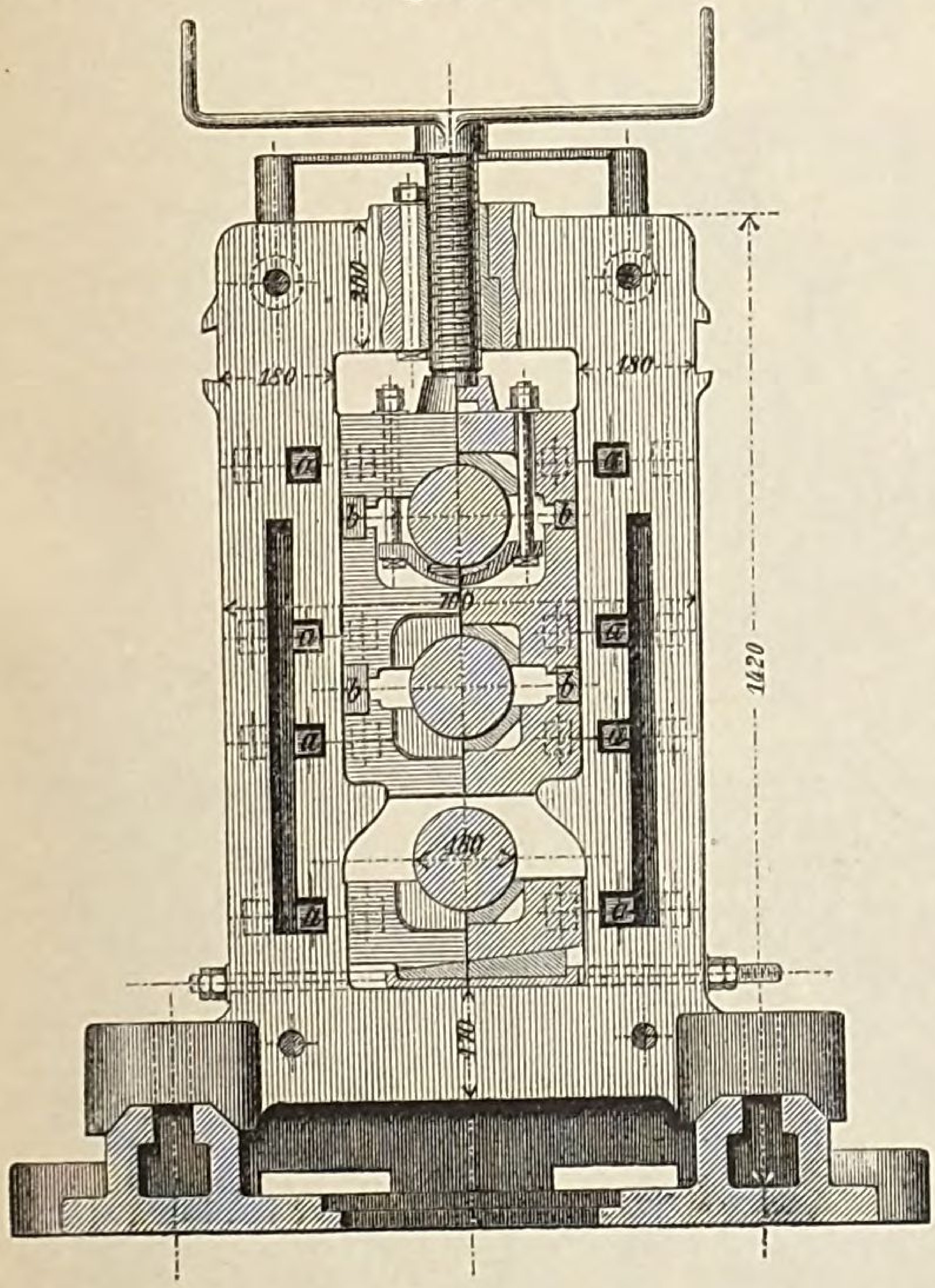
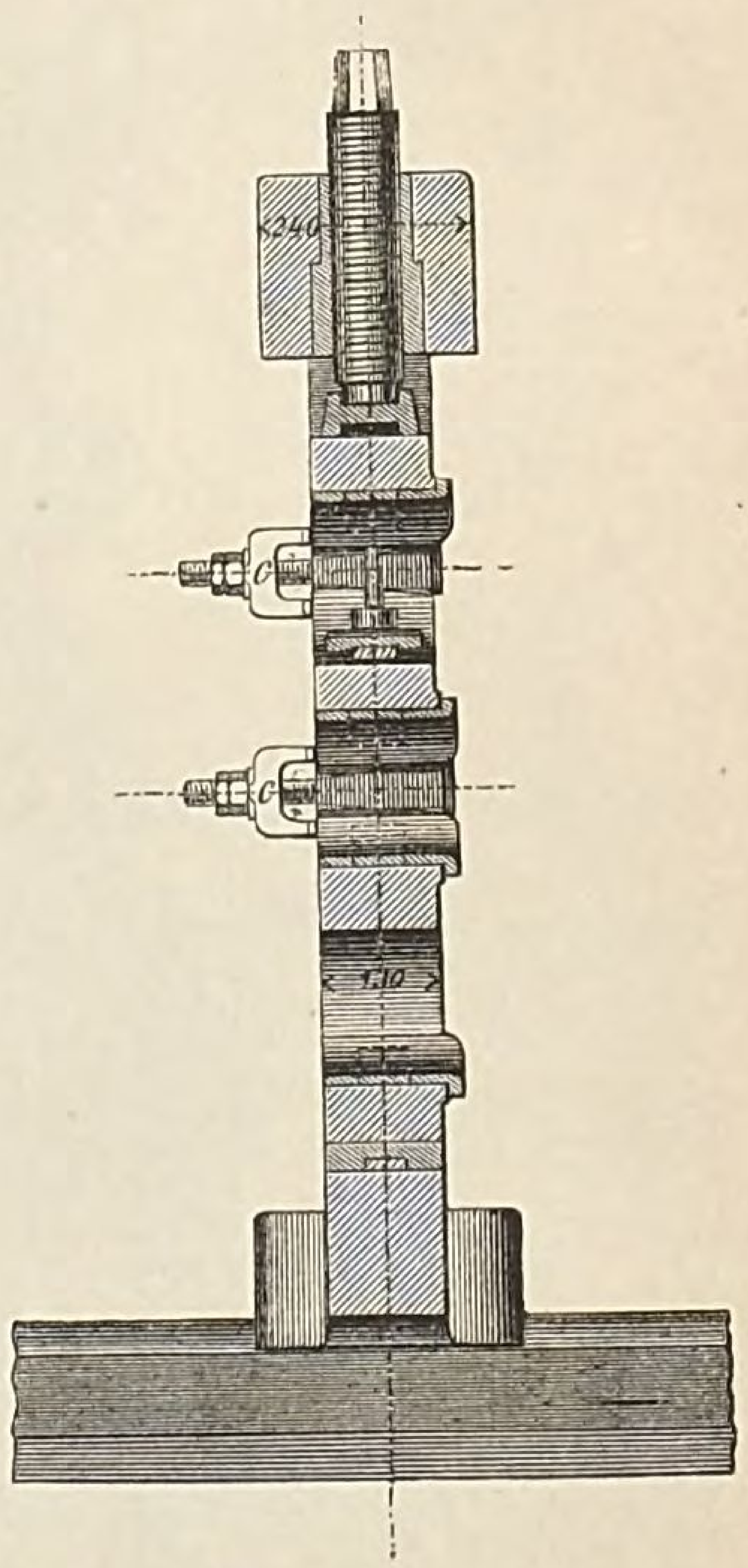


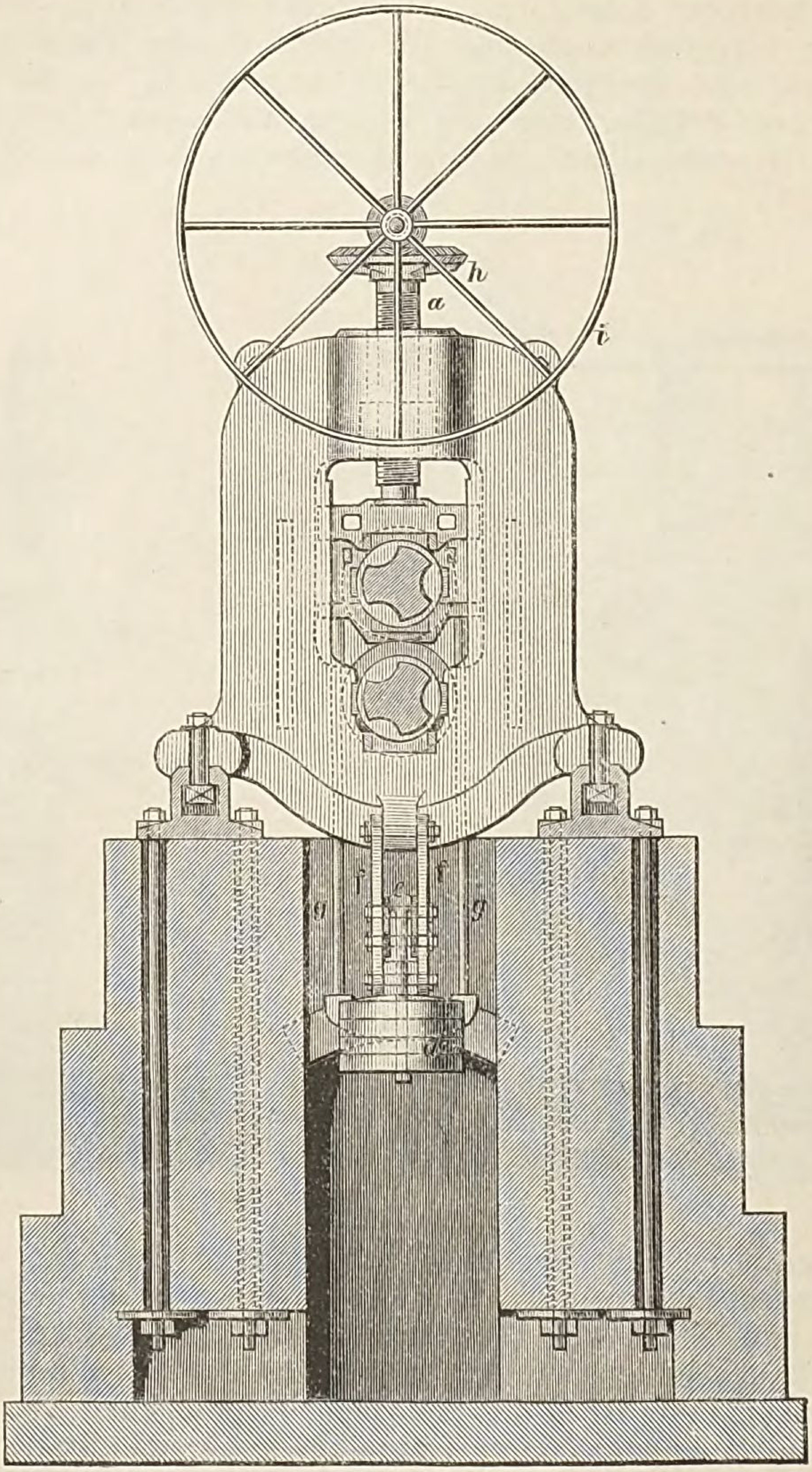
Fig. 211.



mit dem mittleren Getriebe gekuppelt ist und demnach das Mittelwalzenlager fest liegen muss. Ein Keil bewirkt in der leicht erkennbaren Art und Weise die Verstellung des Unterwalzenlagers. Die untere Hälfte des Mittelwalzenlagers ruht im Ständer; die untere Hälfte des Oberwalzenlagers ist in der mehrfach besprochenen Art und Weise durch Schrauben an der oberen Hälfte des Lagers befestigt. Die Lager werden hierdurch unabhängiger von einander als bei dem Ständer Fig. 203. Für die Druckübertragung von einem Lager zum andern und für die Regelung der Höhenstellung dienen Stahlkeile *b b*, welche in der Richtung der Walzenzapfen verschoben werden, und zwar, wie Fig. 211 erkennen lässt, mit Hülfe von Bügeln *c c*, welche gegen die Lager selbst sich stemmen.

Alle bisher besprochenen Walzenständer bilden insofern eine gemeinschaftliche Gruppe, als bei ihnen, wie schon oben erwähnt wurde, die Walzen einen bestimmten Abstand von einander besitzen, welcher

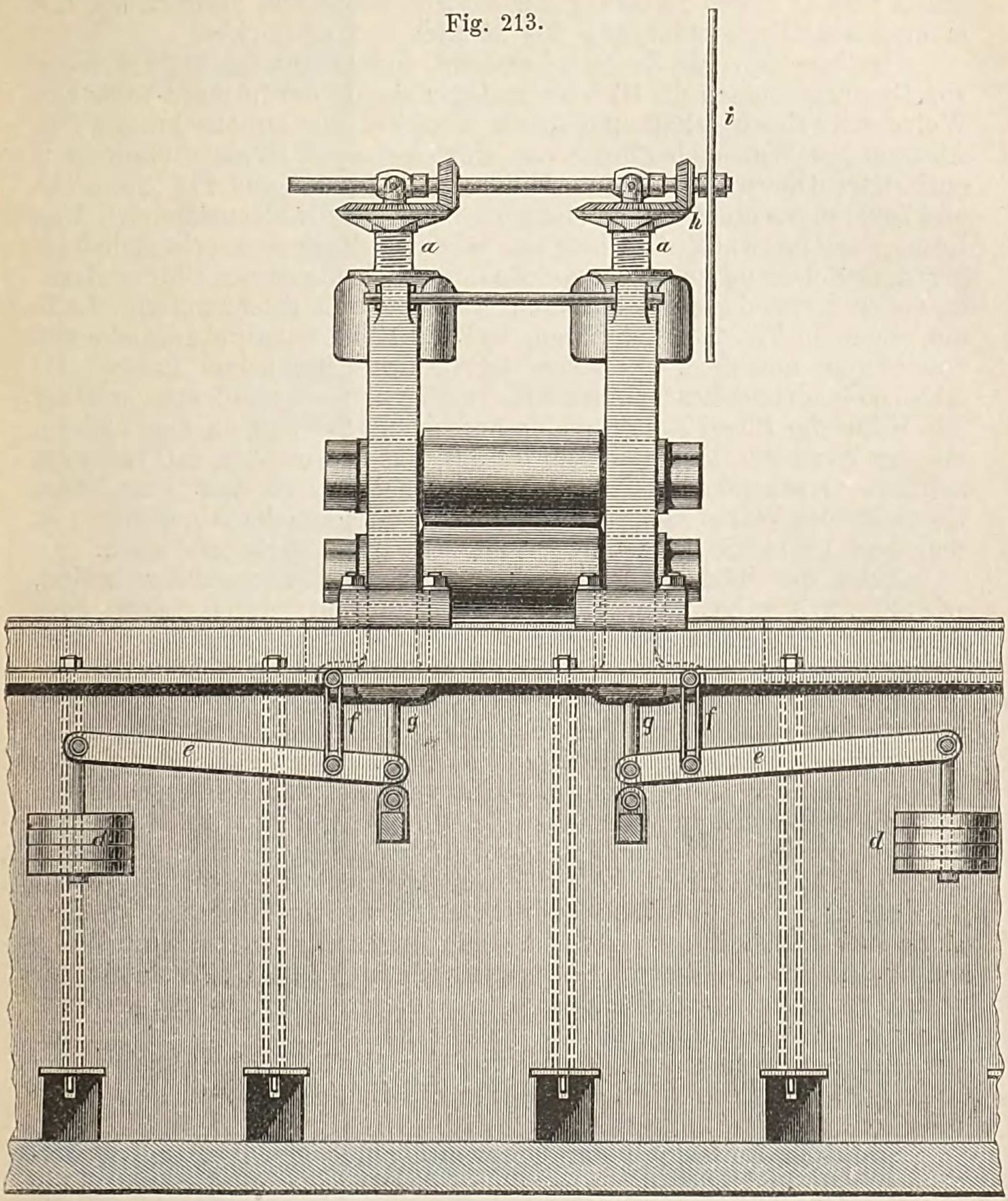
Fig. 212.



vor dem Beginne der Arbeit durch richtige Einstellung der Lager und Anziehen der Druckschraube geregelt wird und während der Arbeit keine Veränderung erfahren darf. Sie sind nicht anwendbar, wenn der Abstand der Walzen von einander auch während der Arbeit veränderlich sein soll, damit man im Stande sei, die Walzenoberflächen

nach beendigtem Durchgange des Walzstückes einander zu nähern, hierdurch die Durchgangsöffnung zu verkleinern und solcherart eine erneute Querschnittsverdünnung zu bewirken, wenn das Walzstück

Fig. 213.



an derselben Stelle wie zuvor zwischen den Walzen hindurchgeführt wird. Der Fall kommt regelmässig beim Walzen von Blechen vor; man bedient sich zweier glatter Walzen ohne Kaliber und verringert nach jedem Durchgange des Walzstückes ihren Abstand; auch die groben, für die erste Verarbeitung starker Flusseisenblöcke bestimmten

Walzwerke (Blockwalzwerke) pflegen in gleicher Weise eingerichtet zu sein. Ihre Walzen sind zwar mit Kalibern versehen, aber es kommt nicht darauf an, dass das Walzstück schon hier eine ganz genau bestimmte Querschnittsform erhalte. Man benutzt also dasselbe Kaliber, indem man es durch Näherung der Walzen allmählich verengt, für die mehrmalige Hindurchführung des nämlichen Walzstückes.

Das hier erörterte Ziel wird erreicht, indem man durch Anordnung von Gegengewichten die Oberwalzenlager sammt der in ihnen ruhenden Walze schwebend erhält und durch Anziehen der Druckschraube den Abstand der Walzenoberfläche von einander regelt (Walzenständer mit entlasteter Oberwalze). Die Abbildungen Fig. 212 und 213 (Seite 748 und 749) zeigen einen derartig eingerichteten Blechwalzenständer.[1]) Das Lager der Oberwalze wird hier von je einem Paar senkrecht stehender kräftiger Bolzen *gg* getragen, welche durch Bohrungen des Unterwalzenlagers und Ständerfusses hindurchgehen und mit ihrem unteren Ende auf einem in Fig. 212 sichtbaren, in Fig. 213 im Schnitte gezeichneten Querhaupte aufruhen. Letzteres ist in der Mitte seiner Länge vermittelst eines Gelenkes an einen Hebel *e* (Fig. 213) angeschlossen, welcher mit Hülfe der Bügel *f* am Ständer aufgehängt ist und an dem andern, längern Arme das Gegengewicht *d* trägt, aus kreisrunden, mit radialem Schlitze versehenen Gusseisenscheiben gebildet, so dass man, dem Gewichte der Walze entsprechend, durch Auflegen oder Abnehmen von Scheiben leicht die Belastung vergrössern oder verringern kann.

Jeder der beiden zu einander gehörigen Walzenständer besitzt, wie Fig. 213 zeigt, sein eigenes Gegengewicht; durch Lösen oder Anziehen der Druckschrauben *a a* wird die Verstellung der Walzen gegen einander bewirkt. Damit aber die Achse der Oberwalze bei dieser Verstellung stets genau parallel zur Achse der Unterwalze bleibe, ist es nothwendig, eine Vorrichtung anzuordnen, mit deren Hülfe beide Druckschrauben gleichzeitig ihre Verstellung um genau das gleiche Maass erhalten. Zu diesem Zwecke sind auf ihren oberen Enden Winkelgetriebe *h h* befestigt, welche durch zwei mit ihnen im Eingriffe stehende, auf einer gemeinschaftlichen wagerechten Welle befindliche Winkelgetriebe in der einen oder andern Richtung gedreht werden können. Die Welle wird von Hand mit Hülfe des an dem Ende befestigten Rades *i* gedreht. Die Lager der wagerechten Welle müssen, damit die Bewegungsübertragung in jedem Höhenstande der Druckschrauben stattfinden kann, mit diesen gehoben und gesenkt werden. Bei dem abgebildeten Walzwerke ist dieser Zweck dadurch erreicht, dass man sie mit Zapfen auf dem Ende der Druckschrauben befestigte. Letztere können sich um die Zapfen drehen, ohne dass diese die Drehung mitmachen.

Statt der Entlastung der Oberwalze durch Gewichte mit Hebelübersetzung und statt der Verstellung der Druckschrauben mit Hülfe eines Handrades wendet man bei schweren Walzen häufig Entlastung und Verstellung durch Wasserdruck an. Ein in dieser Weise eingerichtetes Walzgerüst eines Blockwalzwerkes mit Kaliberwalzen für schwere Flusseisenblöcke ist in Fig. 214 bis 216 abgebildet. Jedes

1) Nach Iron Age 1893, p. 557.

Blockwalzenständer

1/60 der wirklichen Grösse

Fig. 214.

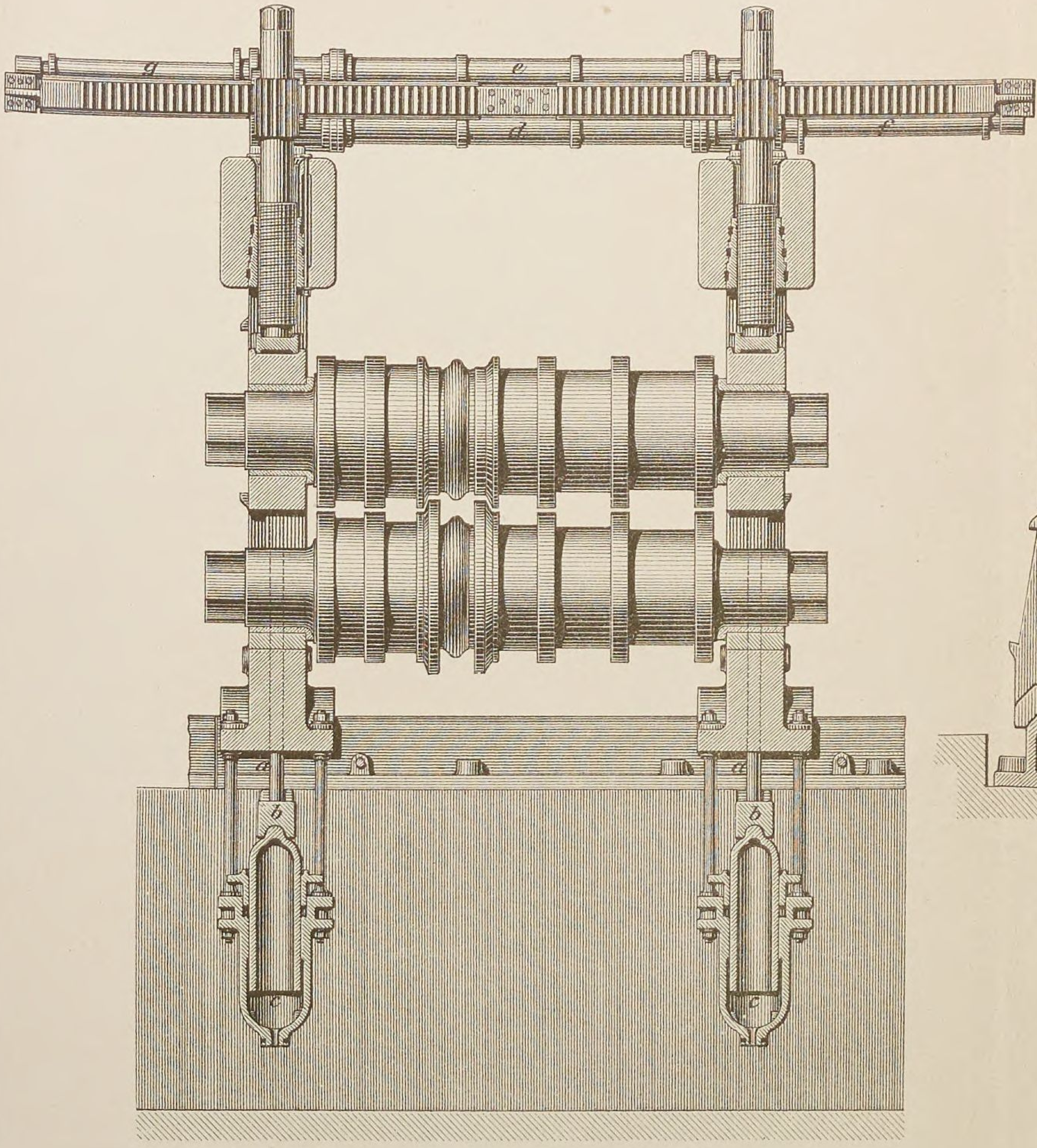
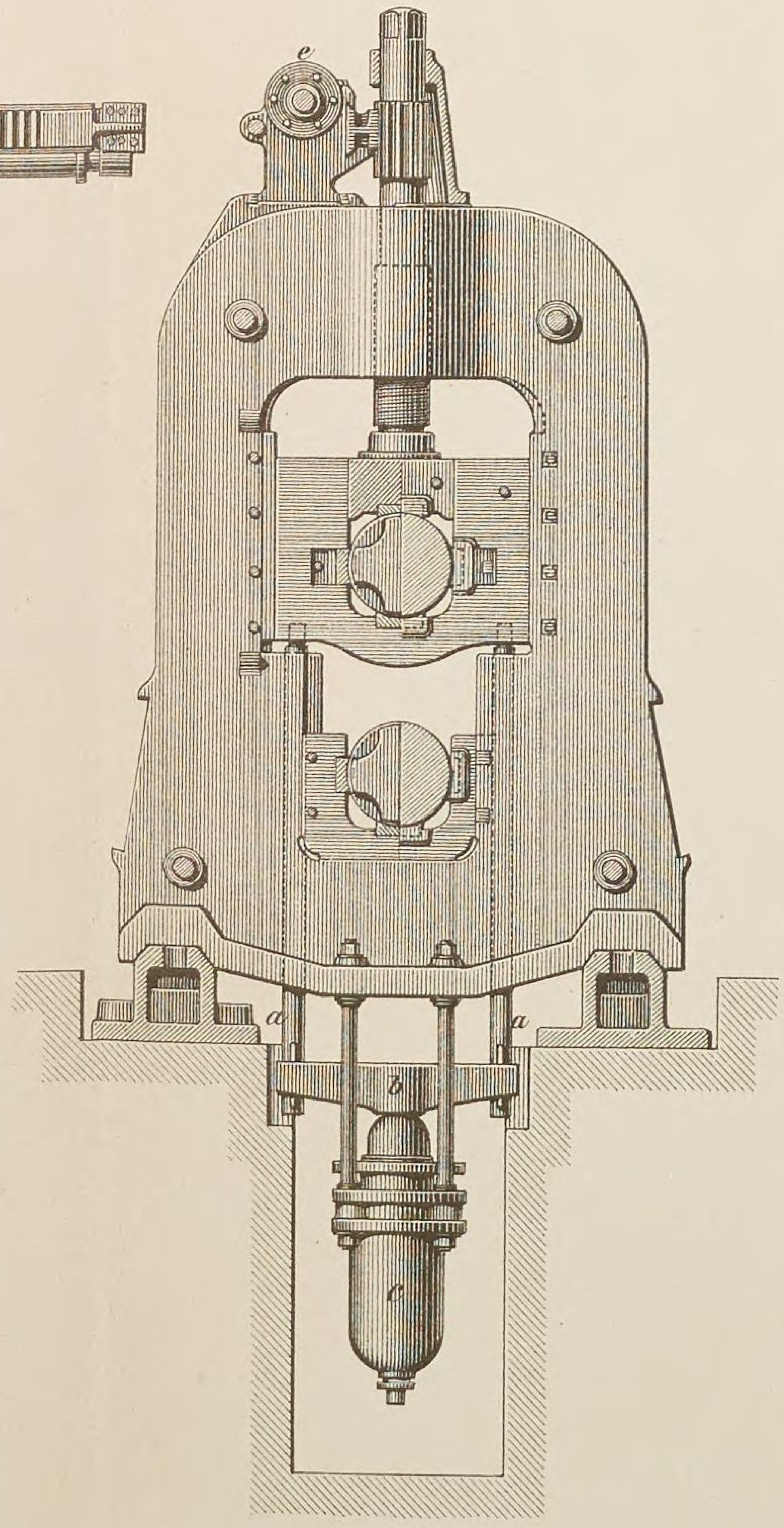


Fig. 215.



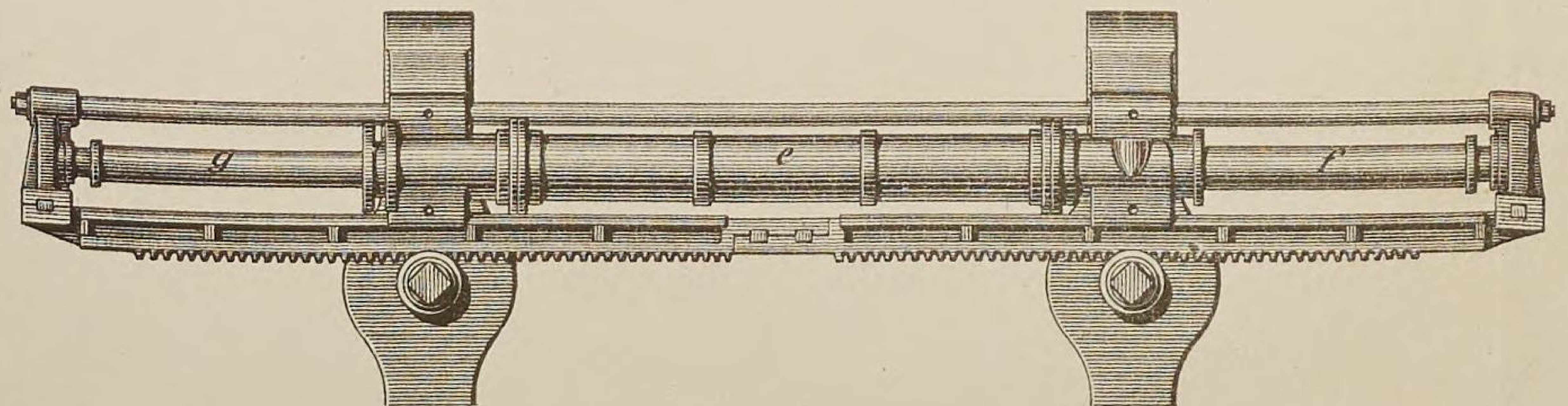


Fig. 216.

Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

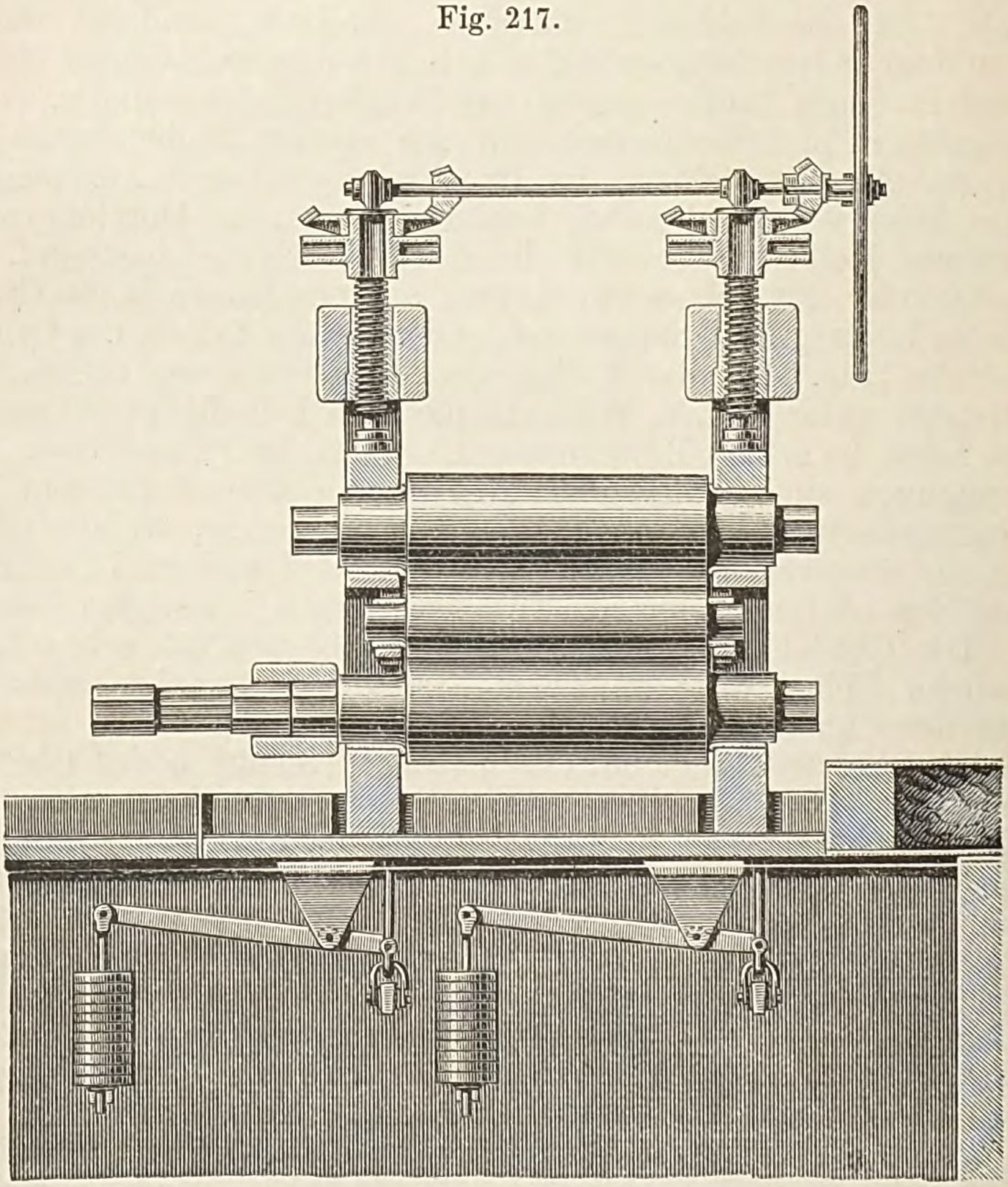
Techn.art.Anst.v. Alfr.Müller, Leipzig-R.

der beiden Oberwalzenlager ruht auch hier auf zwei senkrecht stehenden, durch die Ständer hindurchgehenden Bolzen *a a*, welche sich unten auf starke Querstücke *b b* aufsetzen, und diese werden, wie die Abbildungen ohne Weiteres erkennen lassen, von dem Kolben je eines Wasserdruckcylinders *c c* getragen. Von einem an beliebiger Stelle des Gebäudes angeordneten, senkrecht stehenden Cylinder mit belastetem Kolben aus erhalten die beiden Cylinder *c c* ihr Druckwasser; die Stärke des Druckes, entsprechend dem Gewichte der eingelegten Walzen, wird durch stärkere oder schwächere Belastung jenes Kolbens geregelt. Auf den beiden zu einander gehörigen Ständern, von dem einen zu dem andern hinüberreichend, liegen unmittelbar über einander die zwei in einem Stücke gegossenen Druckcylinder *d* und *e*, ersterer etwas grösser im Durchmesser und mit starker Kolbenstange *f* versehen, zur Abwärtsdrehung der Druckschrauben und Ausübung des Druckes beim Walzen dienend, letzterer kleiner im Durchmesser mit schwächerer Kolbenstange, für die Aufwärtsdrehung bestimmt. Von einem Sammler mit belastetem Kolben aus empfangen beide Cylinder durch eine Leitung ihr Druckwasser, und zwar der Kolben des Cylinders *d* von links (Fig. 214), der Kolben des Cylinders *e* von rechts. Steht also ersterer unter Druck, während das in *e* befindliche Wasser ausfliessen kann, so erfolgt Bewegung nach rechts, und umgekehrt. Beide Kolbenstangen sind in der aus Fig. 216 ersichtlichen Art und Weise mit einer gemeinschaftlichen Zahnstange verbunden, welche mit den Kolben in wagerechter Richtung bewegt wird und im Eingriffe mit den auf den oberen Enden der Druckschrauben befestigten Getrieben steht. Die Getriebe besitzen, wie in Fig. 214 und 215 erkennbar ist, eine solche Höhe, dass in jedem Stande der Druckschrauben der Eingriff der Zahnstange gesichert bleibt.

Solche Walzenständer mit Gewichtsausgleichungen der Oberwalze kommen vorzugsweise bei Zweiwalzwerken in Anwendung, wie es durch die Eigenthümlichkeiten der Einrichtung bedingt ist. Mitunter hat man jedoch die Einrichtung auch auf Dreiwalzwerke übertragen. Als Beispiel hierfür kann das in Fig. 217, 218 und 219 abgebildete Blechwalzwerk mit drei Walzen dienen, welches zuerst von dem belgischen Ingenieur L a u t h gebaut wurde und seit Anfang der siebziger Jahre auf verschiedenen Eisenwerken Anwendung gefunden hat. Die Oberwalze ist in ganz derselben Weise, wie bei dem in Fig. 212 und 213 abgebildeten Walzwerke, durch Anordnung senkrechter Tragstangen und Hebel mit Gegengewichten entlastet; die Mittelwalze wird entweder durch das Walzstück selbst gehoben, wenn es zwischen Unter- und Mittelwalze hindurchgeht, oder ihre Lager hängen an Seilen, mit denen sie emporgezogen werden. Erstere einfachere Einrichtung ist üblicher, selbstverständlich aber nur bei kleinen Walzwerken anwendbar. In jedem Falle muss das Gewicht der Mittelwalze möglichst gering sein, theils damit das Anheben möglich sei, theils auch, damit sie nicht mit allzu heftigem Stosse auf die Unterwalze niederfalle, wenn das Walzstück hindurch gegangen ist. Man giebt ihr also einen wesentlich kleineren Durchmesser als der Ober- und Unterwalze, befördert aber freilich dadurch die stärkere Erhitzung und Abnutzung.

Die Mittelwalze dieses Lauthschen Walzwerkes ist stets Schleppwalze und wird durch die Reibung des Arbeitsstückes mitgenommen. Geht das letztere zwischen Unter- und Mittelwalze hindurch, so wird der Druck durch Mittel- und Oberwalze, welche dicht auf einander liegen, auf die Druckschrauben übertragen; beim Hindurchgehen zwischen Mittel- und Oberwalze ruht die Mittelwalze auf der Unterwalze und pflanzt auf diese den Druck fort. Bei grösseren derartigen Walz-

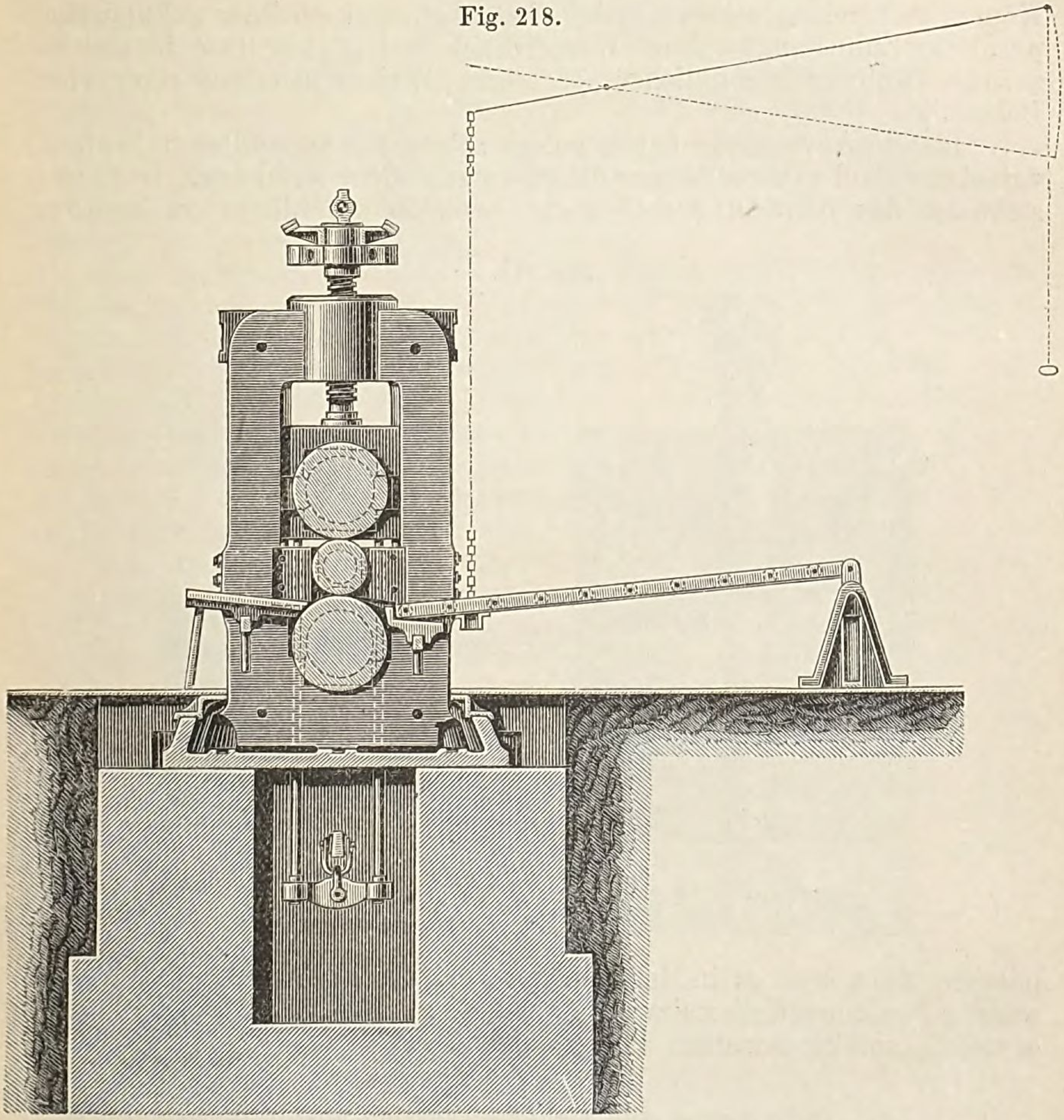
Fig. 217.



werken kuppelt man die Ober- und Unterwalze mit dem oberen und unteren dreier in Eingriff stehender Getriebe; bei kleineren Walzwerken, wie dem in der Abbildung dargestellten, lässt man die Getriebe ganz fehlen, kuppelt die Unterwalze mit der Antriebswelle der Betriebsmaschine und lässt auch die obere Walze als Schleppwalze laufen. Beim Hindurchgehen des Walzstückes zwischen Mittel- und Oberwalze muss also die erstere durch die Reibung der Unterwalze mitgenommen werden, um die solcherart empfangene Bewegung auf das Walzstück zu übertragen.

Auch amerikanische Blockwalzwerke hat man bisweilen als Dreiwalzwerke gebaut und mit entlasteten Walzen versehen. Bei einem derartigen von Fritz entworfenen Dreiwalzwerke waren sowohl die Ober- als die Unterwalze durch Gegengewichte in derselben Weise wie die Oberwalze der soeben besprochenen Walzwerke entlastet; das

Fig. 218.



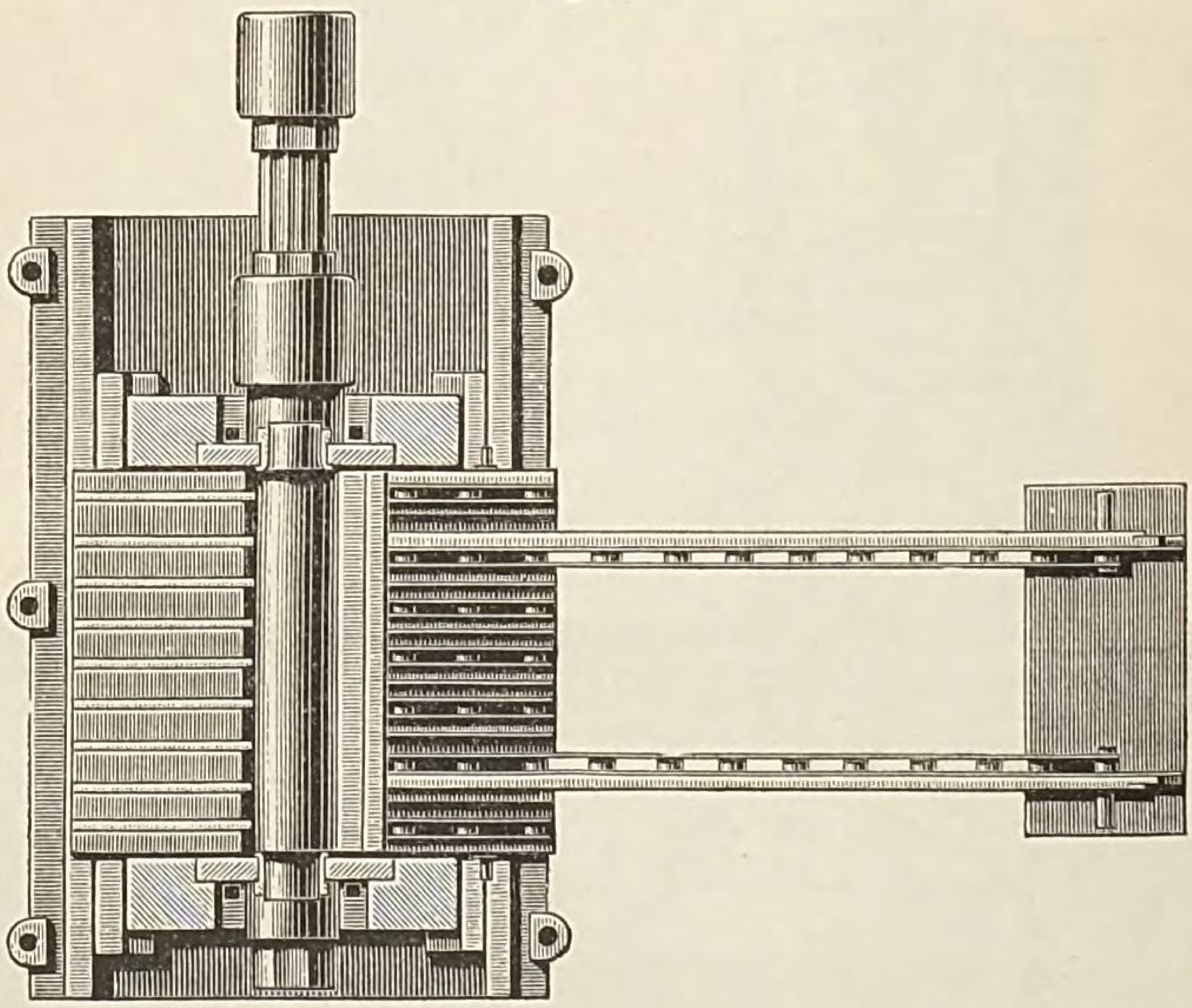
Getriebe der festliegenden Mittelwalze war mit der Antriebswelle gekuppelt. Die Verstellung der Oberwalze erfolgte in der nämlichen Weise, wie bei gewöhnlichen Blechwalzwerken, d. h. vermittelst je einer Druckschraube oberhalb jedes Zapfens, deren Mutter in dem Ständerkopfe befestigt ist; eine eben solche Druckschraube ging durch den Ständerfuss nach unten und ermöglichte die Verstellung der Unterwalze.[1])

1) Abbildung des Fritz'schen Walzwerkes: The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, II.

Bei einem noch andern derartigen, von Holley gebauten Dreiwalzwerke für Flusseisenblöcke lagen die Ober- und die Unterwalze fest, die mittlere Walze wurde verstellt. Zu diesem Zwecke hing ihr Lager an zwei Bolzen mit Schraubengewinden, deren Muttern in dem Lager befestigt waren. Eine Drehung der Bolzen in der einen oder andern Richtung bewirkte Höher- oder Niedrigerstellung. Auf den Köpfen der Bolzen waren Getriebe befestigt, und ein Paar gekuppelter paralleler Zahnstangen, durch Wasserdruck bewegt, bewirkte die gleichzeitige Drehung sämmtlicher zu einem Walzgerüste gehöriger vier Bolzen.[1])

Häufige Anwendung haben jedoch solche mit verstellbaren Walzen versehene Dreiwalzwerke zum Blockwalzen nicht gefunden. In Rücksicht auf das beträchtliche Gewicht, welches die Blöcke zu besitzen

Fig. 219.



pflegen, zieht man es in der Jetztzeit vor, Zweiwalzwerke mit wechselnder Drehung (Kehrwalzwerke), wie oben in Fig. 214 bis 216 dargestellt, zum Blockwalzen zu verwenden.

Walztische und Ueberhebvorrichtungen.

Zur Unterstützung des Walzstückes beim Walzen dienen Walztische, in ihrer einfachsten Form aus je einer Eisenplatte bestehend, welche an ihrer einen Seite sich gegen die Oberfläche der Walze legt und von dieser getragen wird, während sie an der gegenüberliegenden Seite auf einem Eisenstabe ruht, welcher quer von einem Walzenständer zum andern hinübergeht und in eingegossenen Nuthen der

1) Abbildung: Tunner, Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten, Wien 1877, Tafel I.

Walzenständer seine Auflage erhält. Durch untergeschobene Holz- oder Eisenstäbe wird seine Höhenlage geregelt. In Fig. 198 auf Seite 743 ist *b* die erwähnte Nuth; auch die sonstigen gegebenen Abbildungen von Walzenständern lassen meistens diese Nuth erkennen. Fig. 218 (Seite 753) zeigt an der linken Seite der Unterwalze einen Walztisch der beschriebenen Art.

Sind derartige Walztische für Kaliberwalzen bestimmt, so schneidet man wohl ihre den Walzen zugekehrte Kante der Form der Kaliber entsprechend aus; nicht selten bringt man auch auf dem an der Vorderseite der Walzen (der Eintrittsseite) befindlichen Tische Führungen in Form von Rinnen oder Büchsen an, welche in die Kaliber münden, um die rasche und sichere Einführung des Walzstückes in das Kaliber zu ermöglichen. Besonders sind bei Schnellwalzwerken für feinere Eisensorten solche Führungen unentbehrlich.

Hat das Walzstück aber ein einigermaassen beträchtliches Gewicht oder bedeutende Abmessungen, so pflegt der Walztisch mit eingelassenen Rollen versehen zu werden, welche ein wenig über seine Oberkante emporragen, so dass auf ihnen das Walzstück gleitet. Ausserdem sind alsdann bei den Walzwerken, welche ununterbrochen in der gleichen Richtung laufen (also nicht Kehrwalzwerke sind), gewöhnlich Vorrichtungen zur Erleichterung des Hebens und Senkens des Walzstückes erforderlich, welches jedesmal stattfinden muss, wenn das Walzstück die Walzen verlassen hat und nun entweder — bei Zweiwalzwerken — über die Oberwalze zurückgegeben oder — bei Dreiwalzwerken — zwischen Mittel- und Oberwalze zurückgewalzt werden soll.

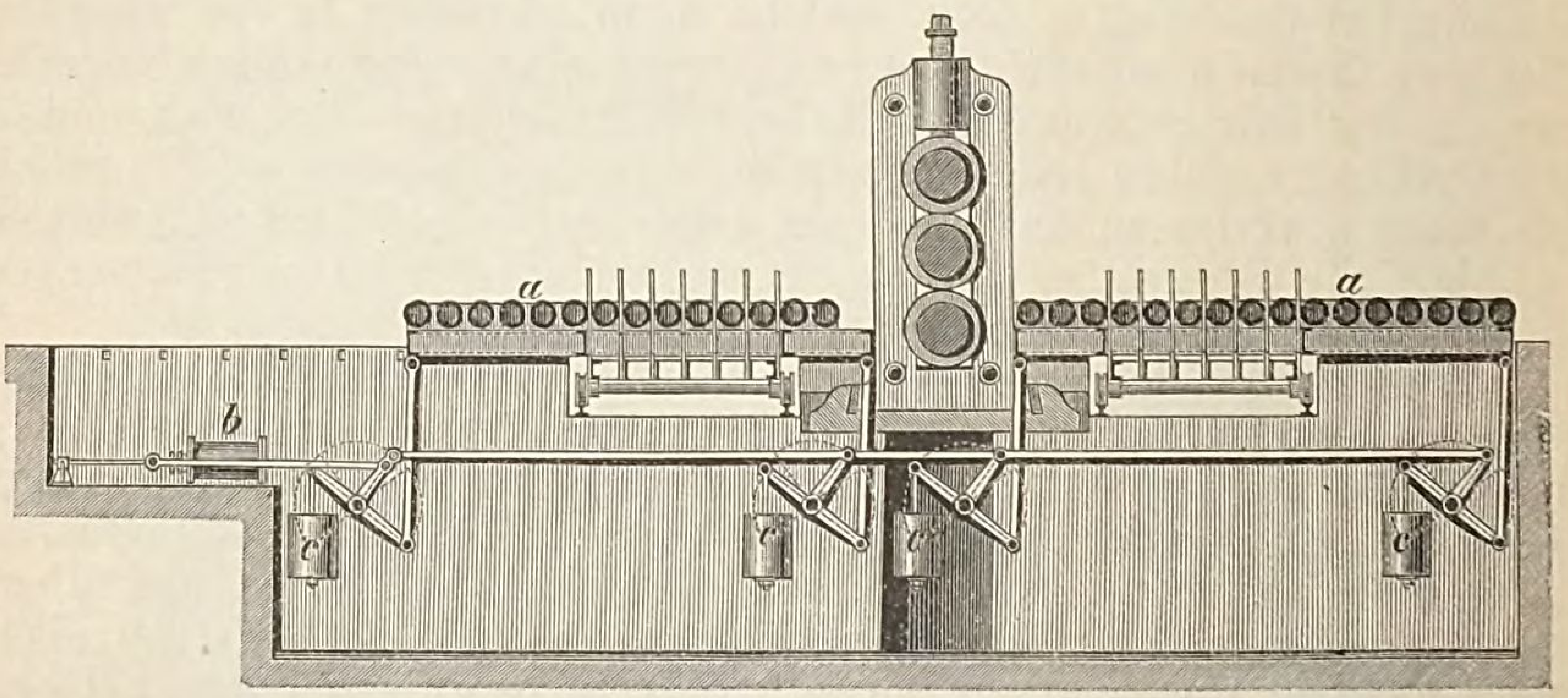
Zum Ueberheben kurzer, nicht sehr schwerer Walzstücke — gezängter Luppen der Schweisseisendarstellung, welche zu Rohschienen ausgewalzt werden sollen, kleinerer Flusseisenblöcke — bedient man sich häufig nur einer Einrichtung, welche in Fig. 195 auf Seite 736 dargestellt ist. Ein eiserner Hebel hängt an einer Kette und dient zum Ergreifen und Anheben des Walzstückes; die Kette ist an einer Rolle befestigt, welche auf einer in der Höhe angebrachten Schiene läuft und sich leicht nach jeder beliebigen Stelle des Walzwerkes bewegen lässt.

Ist das Walzwerk weniger leicht beweglich, so pflegt man den ganzen Walztisch so einzurichten, dass er mit dem Walzstücke gehoben und gesenkt werden kann. Fig. 218 und 219 zeigen rechts einen solchen Walztisch einfachster Art, zur Aufnahme des zwischen Unter- und Mittelwalze herauskommenden Walzstückes und Anheben auf die Höhe der Mittelwalzenoberkante bestimmt, damit es zwischen Mittel- und Oberwalze zurückgewalzt werden kann. Er ist gitterartig aus Eisenstäben zusammengesetzt, zwischen denen Rollen zu dem oben angegebenen Zwecke eingelassen sind; an dem hintern Ende ruht er mit Zapfen in Lagern, während das vordere Ende mit Hülfe zweier gekuppelter Hebel, wie Fig. 218 erkennen lässt, gehoben werden kann.

Da das hier erwähnte Walzwerk nur zur Anfertigung von Feinblechen von geringem Gewichte bestimmt ist, genügt die Einrichtung vollkommen. Das an der linken Seite des Walzwerkes zwischen Ober- und Mittelwalze zurückkommende Walzstück wird sofort mit einer Zange erfasst und fällt von selbst, wenn es die Walzen verlassen hat,

auf den hier befindlichen festen Tisch nieder, ohne die Kraft des Arbeiters übermässig zu beanspruchen oder Stösse zu verursachen. Beim Walzen schwererer Arbeitsstücke müssen dagegen zwei bewegliche Walztische vorhanden sein, welche gleichzeitig gehoben und gesenkt werden. Die Bewegung kann, wie die des einen Walztisches in Fig. 218; von Hand mit Hülfe eines Hebels geschehen; häufiger dient ein Dampf- oder Wasserdruckcylinder hierfür, welcher vertieft unterhalb des Tisches oder in der Höhe angebracht ist. Der Tisch pflegt in diesen Fällen nicht, wie der besprochene, in Zapfen zu schwingen, sondern an beiden Enden gleichmässig gehoben zu werden, ohne seine wagerechte Lage zu ändern. Die Bewegungsübertragung hierbei lässt in verschiedener Weise sich bewerkstelligen. Als ein Beispiel möge die in Fig. 220 gegebene Abbildung dienen. *aa* sind die beiden Walztische mit den darauf befindlichen Rollen. *b* ist der Wasserdruckcylinder für die Bewegung der Tische; es ist ohne Schwierigkeit erkennbar, wie durch Vermittelung von Hebeln und Lenkstangen die Bewegung der Tische

Fig. 220.



vom Cylinder aus erfolgt. *ccc* sind Gegengewichte zur Abminderung des zu hebenden Gewichtes.

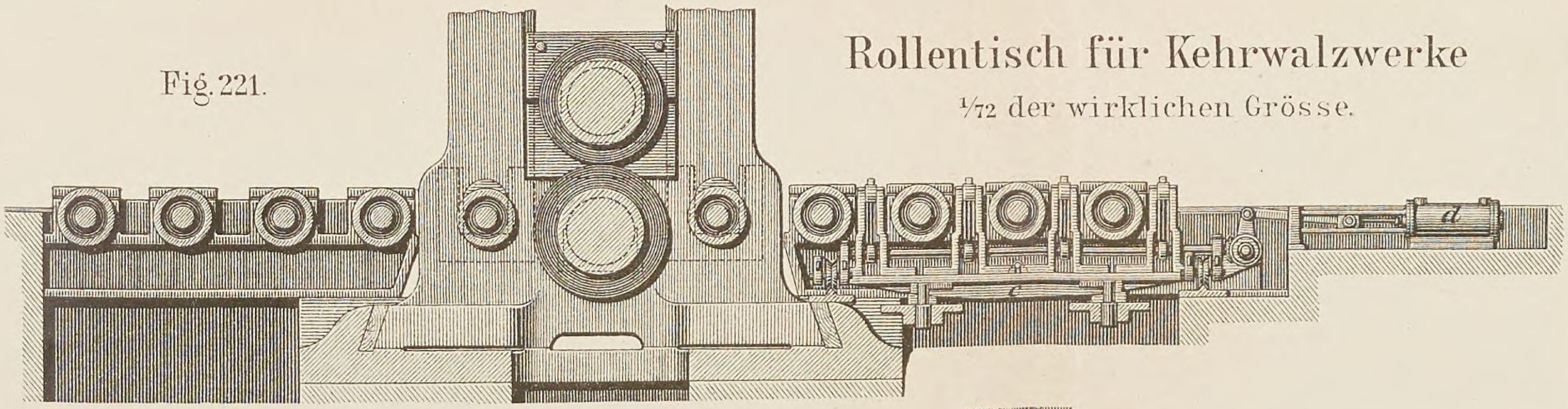
Während die Rollen kleinerer Walztische (Fig. 218) nur den schon erwähnten Zweck erfüllen, die Reibung zwischen Walzstück und Tischoberfläche zu verringern, benutzt man sie bei Walzwerken für schwere Walzstücke (Blöcke, Träger, Schienen) auch unmittelbar für die Fortbewegung des Walzstückes, indem man ihnen von einer besonderen Dampfmaschine aus selbständige Drehung in der einen und andern Richtung ertheilt, so dass das auf ihnen lastende Walzstück ohne Aufwand menschlicher Arbeit zwischen die Walzen geführt werden kann. Die Rollen erhalten in diesem Falle grössere Durchmesser, als in jenem einfacheren Falle, und die Dampfmaschine, welche sie bewegt, muss mit Umsteuerungsvorrichtung versehen sein. Ein Walztisch dieser Art ist in Fig. 221 bis 223 dargestellt.[1]) Die Drehung der Rollen wird durch Winkelgetriebe von einer gemeinschaftlichen Welle aus bewirkt, wie in Fig. 222 erkennbar ist; die Welle erhält

1) Walzentisch der Ebbw Vale Steel Works. Engineering vol. XXXIX, p. 421.

Rollentisch für Kehrwalzwerke

1/72 der wirklichen Grösse.

Fig. 221.



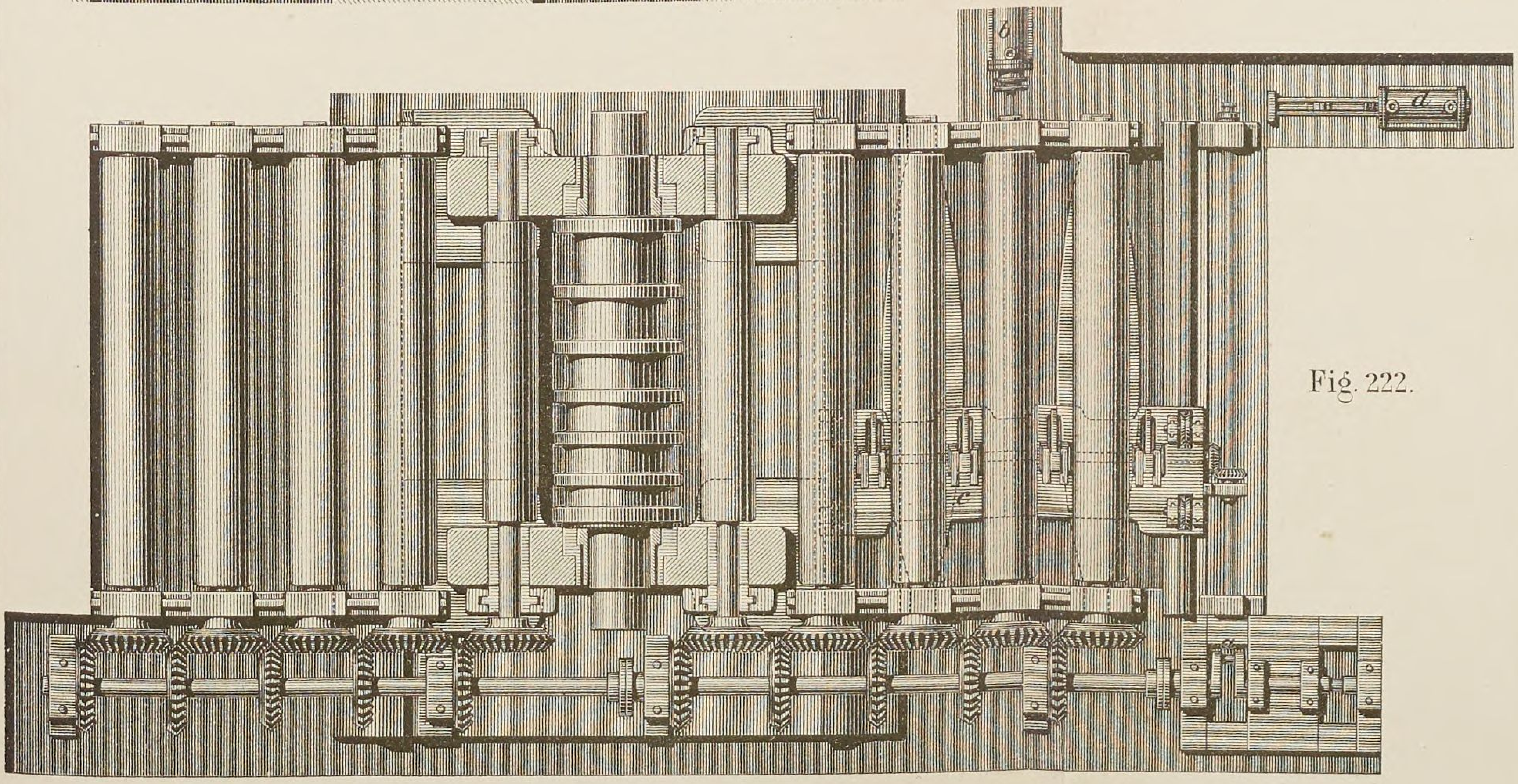


Fig. 222.

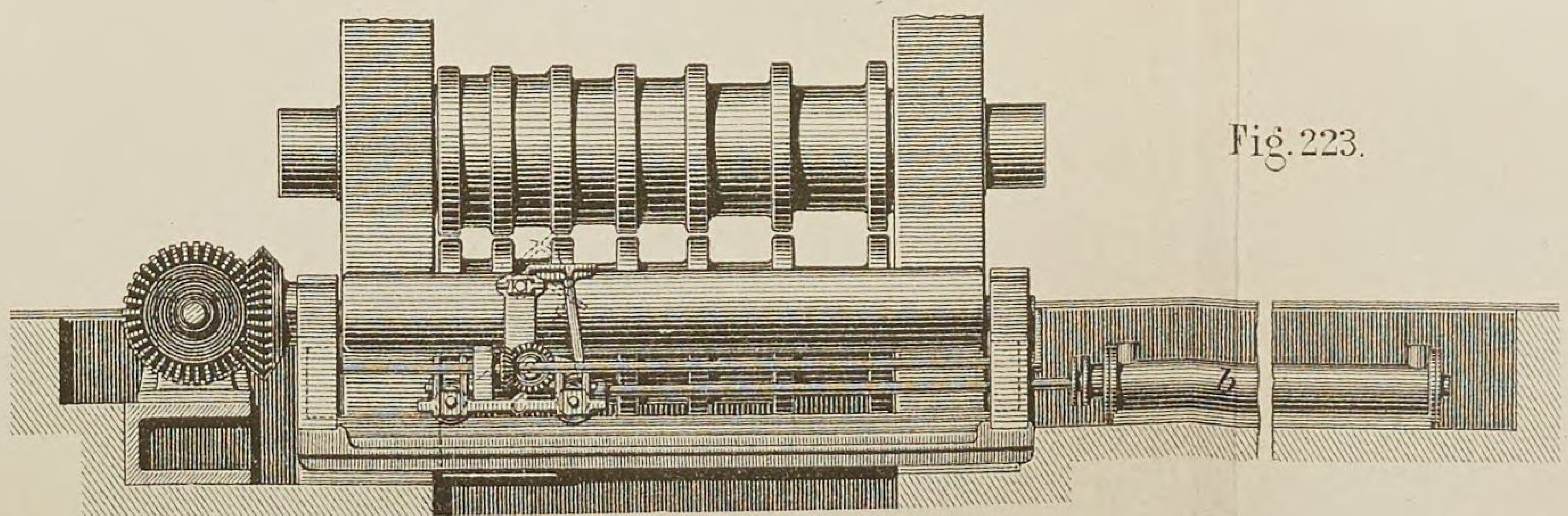


Fig. 223.

Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

an der gekröpften Kurbel *a* ihren Antrieb von einer in der Abbildung nicht mitgezeichneten Zwillingsdampfmaschine aus. Bei jeder Bewegungsumkehr der Walzen wird auch die Bewegung der Rollen umgesteuert, um das Walzstück auf's neue den Walzen zuzuführen. Eine besondere Vorrichtung ist vorhanden, um den Block auch ohne Aufwand menschlicher Arbeit um 90 Grad zu wenden, wenn er in anderer Lage als zuvor durch das gleiche Kaliber hindurchgehen soll, und ihn parallel zu den Achsen zu verschieben, wenn er einem andern Kaliber zugeführt werden soll. Von der Kolbenstange des Wasserdruckcylinders *b* wird zu diesem Zwecke der unterhalb der Rollen befindliche, auf zwei Schienen laufende Wagen *c* verschoben. Der Wagen trägt vier Hebel auf gemeinschaftlicher Welle, welche sich zwischen den Rollen befinden und von dem Wasserdruckcylinder *d* aus durch Vermittelung einer Welle und eines Paares Winkelräder bewegt werden können, wie Fig. 222 erkennen lässt. Während des Walzens sind die Hebel so weit umgelegt, dass ihre Oberkante unter der Rollenoberkante bleibt; soll der Block gewendet werden, so werden sie gegen dessen Kante geschoben und dann gedreht; in einer dritten Stellung heben sie den Block von den Rollen ab und befördern ihn zu dem folgenden Kaliber, sobald der Wagen verschoben wird. Da das Winkelrad, welches die Bewegung der Triebwelle auf die Welle der Hebel überträgt, auf seiner eigenen Welle verschiebbar ist, bleibt die Bewegungsübertragung in jedem Stande des Wagens gesichert.

Solche Rollentische mit eigener Bewegung der Rollen sind vorzugsweise bei Kehrwalzwerken in Anwendung; bisweilen jedoch haben sie auch bei grossen Dreiwalzwerken Benutzung gefunden. Mit den Walztischen wird auch die Getriebewelle, welche den Antrieb der Rollen vermittelt, gehoben und gesenkt. Durch Anordnung eines zum Ausrücken eingerichteten Zwischengeleges wird die Bewegungsübertragung von der Dampfmaschine auf die Getriebewelle auch in dem oberen Stande des Tisches ermöglicht.[1])

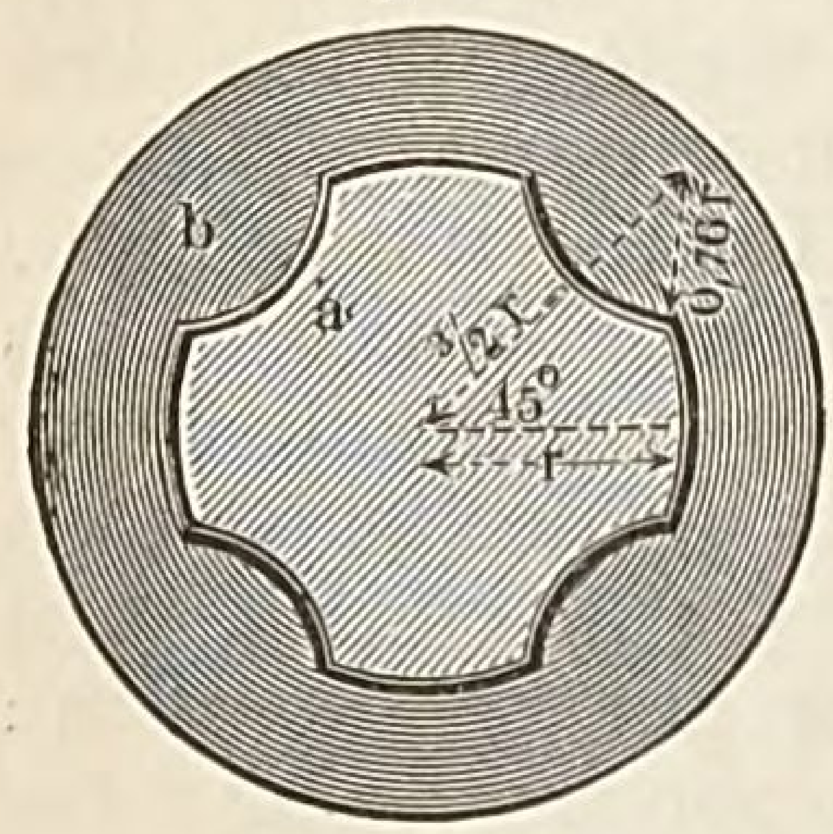
Kupplungen.

Sie bestehen aus den Kupplungsmuffen und den zwischen den gegenüberstehenden Zapfen der zu kuppelnden Walzen oder Getrieben eingeschalteten Kupplungsspindeln. Der Zweck der letzteren wurde schon früher erwähnt: sie sollen die Benutzung auch solcher Walzen ermöglichen, deren Durchmesser nicht genau mit dem der Getriebe übereinstimmt, und ausserdem sollen sie eine Verstellung der Oberwalze gestatten, ohne dass die Nachbarwalze oder gar die Getriebe dadurch in Mitleidenschaft gezogen würden. Der Zweck lässt sich nur erreichen, wenn die Kupplungsspindeln und die Kupplungszapfen der Walzen innerhalb der Muffen einen gewissen Spielraum finden, d. h. nicht allzu dicht von ihnen umschlossen werden; anderntheils ist eine grosse Länge der Spindeln förderlich hierbei, da jede Veränderung in der Höhenlage einer Walze offenbar die Richtung der Spindel um so weniger bemerkbar beeinflussen wird, je länger die letztere ist.

1) Beispiele solcher Rollentische für Walzwerke: „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 667; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1892, Seite 144.

In jedem Falle muss die Länge der Kupplungsspindeln mindestens doppelt so gross sein, als die Länge der Kupplungsmuffen, damit die beiden zu einer Kupplung gehörenden Muffen gemeinschaftlich auf die Spindel geschoben und mit dieser zwischen den Zapfen herausgenommen werden können. Nach Hauer soll die Länge der Spindeln das 15- bis 20 fache der Höhe betragen, auf welche die Walzen gehoben werden; daher ist sie bei groben Blechwalzwerken und Blockwalzwerken am bedeutendsten und beträgt hier bisweilen einige Meter, während sie bei Feineisenwalzwerken mitunter nicht 0,5 m erreicht.

Fig. 224.



Die Länge der Muffen soll um 10 bis 20 mm grösser sein, als die doppelte Länge der Kupplungszapfen.

Den Muffen pflegt man äusserlich kreisrunde Form zu geben; der Querschnitt der Oeffnung muss der Querschnittsform der Zapfen und Spindeln entsprechen und aus dem schon angeführten Grunde nur etwas grösser im Durchmesser als dieser sein. Fig. 224 zeigt als Beispiel, wie sich eine passende Querschnittsform herstellen lässt.[1])

Die geringste Wandstärke der Muffe beträgt durchschnittlich ein Viertel des grössten Durchmessers der Kupplungsspindeln.

In der Mitte giebt man den Kupplungsspindeln häufig einen etwas geringeren Durchmesser als an den Enden, wo sie in den Muffen stecken (vergl. Fig. 195). Man lenkt dadurch die Gefahr eines Abbrechens bei starken Widerständen oder Stössen von den Kupplungszapfen der kostspieligen Walzen ab und auf die Spindeln, welche ohne erhebliche Kosten und rasch zu ersetzen sind.

Die Getriebe oder Kammwalzen nebst Ständern.

In Rücksicht auf die beträchtlichen Stösse, welche vom Walzwerke ausgehen, müssen die Zähne der Getriebe ausnahmsweise kräftig gefertigt sein; man wählt daher die Zahl der Zähne für einen vorgeschriebenen Theilkreisdurchmesser so gering, als es irgend möglich ist, ohne den Eingriff zu benachtheiligen, und giebt ihnen eine beträchtlichere Länge (in der Achsenrichtung des Walzwerkes) als bei gewöhnlichen Getrieben. Zur Verstärkung der Zähne werden an beiden Seiten Scheiben angegossen, und wenn die Länge der Zähne sehr gross ist, werden sie nicht selten auch in der Mitte ihrer Länge durch eine dritte Scheibe verstärkt, welche das Getriebe in zwei Hälften theilt (vergl. Fig. 225). Sämmtliche Scheiben werden nach dem Theilkreisdurchmesser abgedreht, so dass die Scheiben der in einander greifenden Getriebe auf einander laufen.

Fig. 225.



1) Nach v. Hauer.

Bei neueren Walzwerken wendet man regelmässig Getriebe mit Winkelzähnen an (Fig. 225), welche zwar etwas kostspieliger in der Herstellung, dem Abbrechen der Zähne aber weniger als bei der gewöhnlichen Zahnform unterworfen sind und sanfteren Eingriff besitzen.

Man giesst die Getriebe aus Gusseisen oder Stahl. Grössere Getriebe werden in zwei Stücken gefertigt, dem Zahnkranze und der Achse mit den Lauf- und Kupplungszapfen. Beide Stücke werden genau aus- und abgedreht, über einander geschoben und mit Nuth und Feder befestigt.

Die Ständer für die Getriebe versieht man stets mit einem aufgeschraubten Deckel, statt sie, wie die Walzenständer, in einem Stücke zu giessen, wodurch das Einlegen der Getriebe erleichtert wird. Im Uebrigen pflegen sie in ihrer äusseren Form den Walzenständern ähnlich zu sein. Druckschrauben kommen nicht zur Anwendung, da die Lage der Getriebe unverändert bleibt.

Das Schwungrad.

Es soll die während des Leerganges von der Betriebsmaschine überschüssig geleistete Arbeit ansammeln, um sie während des Durchganges des Walzstückes nutzbar zu machen. Je schwerer das Schwungrad und je länger jene Pausen sind, während welcher die Walzen leergehen, desto schwächer kann die Betriebsmaschine sein; doch muss immerhin das Gewicht des Schwungrades auch mit der Grösse der überhaupt aufzuwendenden Arbeit für das Walzen zunehmen. Bei einem kleinen Walzwerke würde ein allzu schweres Schwungrad den Arbeitsverlust durch Zapfenreibung unverhältnissmässig vergrössern. Selten jedoch beträgt auch bei Walzwerken für feinere Eisensorten das Schwungradgewicht weniger als 15 t; bei Walzwerken mittlerer Grösse steigt es auf 30 t; neuere grosse Dreiwalzwerke für Schienen, Träger und ähnliche schwere Fertigerzeugnisse haben Schwungräder von bisweilen über 50 t Gewicht.

Sohlplatten und Unterbau.

Die Walzenständer sowohl als die Getriebeständer werden auf starken gusseisernen Sohlplatten in solcher Weise befestigt, dass eine Verschiebung in der Achsenrichtung der Walzen ohne grosse Schwierigkeit möglich ist, wenn Walzen von anderer Länge eingelegt werden sollen. Die Sohlplatten sind gewöhnlich rahmenartig geformt; die ältere Art der Befestigung der Ständer auf ihnen ist durch die Abbildungen Fig. 203, Seite 745 und Fig. 218, Seite 753 veranschaulicht. Zwischen den aufwärts gerichteten, kräftig geformten Rippen, welche auf der Sohlplatte in der Längsrichtung sich erstrecken, werden die Ständer mit hölzernen und eisernen Einlegestücken verkeilt. Dass der Fuss der Ständer an der Unterseite, sowie die Oberfläche der Sohlplatte mit gehobelten, gut auf einander schliessenden Arbeitsleisten versehen werden müsse (vergl. Fig. 203), wurde schon früher erwähnt.

Eine andere, vornehmlich bei neueren Walzwerken zur Anwendung gekommene Befestigung der Ständer auf der Sohlplatte zeigt

Fig. 210 (Seite 747). Schraubenbolzen, welche in den Schlitzen der auf die Sohlplatte aufgegossenen Rippen verschiebbar sind, stellen die Verbindung her. Statt der Anwendung einer Platte mit den aufgegossenen Rippen begnügt man sich bei der zuletzt erwähnten Befestigungsweise auch wohl, die Rippen allein zu giessen und auf dem Unterbau ausreichend haltbar zu befestigen (Fig. 206, 212, 215).

Der Unterbau besteht aus zwei parallel laufenden, in Cement gemauerten Wänden, unter einander durch Querwände in entsprechenden Abständen versteift und mit Oeffnungen für die Ankerschrauben zur Befestigung der Sohlplatten versehen. In Fig. 212 ist die Einrichtung des Unterbaues erkennbar.

c) Die Kalibrirung der Walzen.

Von der zweckmässig gewählten Form der Kaliber (Seite 732) hängt zum grossen Theile die Leistung des Walzwerkes sowohl in Hinsicht seiner Erzeugungsfähigkeit als der Beschaffenheit der Erzeugnisse ab, und die Kalibrirung der Eisenwalzen ist daher eine Aufgabe von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit. Nur in allgemeinen Umrissen können die Regeln dafür hier entwickelt werden; Näheres über das Entwerfen der Kaliber für bestimmte Querschnitte findet der Leser in den unter Literatur genannten Sonderwerken über diesen Zweig der Eisenhüttenkunde.

Kaliber, welche gleichmässig auf Ober- und Unterwalze vertheilt sind, so dass jede der letzteren eine Hälfte des Kalibers als furchenartigen Einschnitt enthält (wie bei den rechts befindlichen Walzen in Fig. 195, Seite 736), nennt man offene; tritt dagegen die Oberwalze mit einem vorspringenden Rande in die Furche der Unterwalze, wie bei den linksseitigen Walzen der genannten Abbildung, so heisst das Kaliber geschlossen. Geschlossene Kaliber, bei denen die Furche in der Oberwalze, der Rand in der Unterwalze liegt, kommen nur ausnahmsweise vor, da es wünschenswerth ist, dass der Durchmesser der Oberwalze innerhalb des Kalibers grösser sei als der der Unterwalze. Das Walzstück bekommt hierdurch die Neigung, nach unten sich zu krümmen, und wird durch den Walztisch oder durch besonders für diesen Zweck gegen die Walze gelegte Abstreifmeissel vor dem Aufwickeln auf die Walze geschützt.

Je zwei benachbarte Kaliber sind durch einen dazwischen liegenden Rand oder Ring getrennt. Man pflegt ihm 10—25 mm Breite zu geben. Je breiter die Ringe sind, desto mehr Walzenlänge geht für die Benutzung zu Kalibern verloren; sehr schmale Ringe dagegen brechen leichter aus.

In allen Fällen muss das Arbeitsstück, um eine bestimmte Endform zu erhalten, nach einander verschiedene Kaliber durcheilen, deren Querschnitt für jeden neuen Durchgang kleiner ist. Der Querschnitt des letzten oder Endkalibers entspricht dem Querschnitte des fertigen Stabes; von hier bis zum ersten Kaliber aufwärts bilden sämmtliche Kaliber eine zusammenhängende Reihe mit allmählichen Uebergängen sowohl der Querschnittsgrösse als Querschnittsform.

Je allmählicher diese Uebergänge stattfinden, desto mehr Kaliber

sind für eine und dieselbe Endform erforderlich, desto länger ist die Zeitdauer des Auswalzens, desto mehr kühlt das Walzstück während der Arbeit ab, und desto öfter muss es neu erhitzt werden; raschere Uebergänge tragen zur Beschleunigung der Arbeit bei, machen aber eine höhere Leistung der Betriebsmaschine erforderlich und vergrössern die Gefahr einer Beschädigung des Walzstückes unter dem Einflusse eines allzu starken Streckens.

Je mehr Eisensorten von verschiedenen Querschnittsformen auf einem und demselben Eisenwerke gefertigt werden, und je mehr Kaliber für eine und dieselbe Endform erforderlich sind, desto grösser ist der Bedarf an Walzen. Nicht selten aber lassen sich gleiche Anfangskaliber für verschiedene, wenn auch ähnliche Endformen benutzen. Indem man nun bei einer Walzstrecke mit zwei oder mehreren Walzgerüsten die Kaliber so vertheilt, dass die Walzen des einen Gerüstes, die Vorwalzen, nur Anfangskaliber, für mehrere Endformen brauchbar, die Walzen des zweiten Gerüstes, die Fertigwalzen, nur die letzten, für eine einzige Endform benutzbaren Kaliber enthalten, erlangt man verschiedene Vortheile. Man kommt weniger häufig in die Nothwendigkeit, die Walzen auswechseln zu müssen, theils weil die Vorwalzen ohnehin für verschiedene Zwecke brauchbar sind, theils auch, weil die Länge der Fertigwalzen gewöhnlich ausreichend gross ist, um die Kaliber verschiedener Endformen aufzunehmen; man ermöglicht auch eine Beschleunigung der Arbeit, da nunmehr gleichzeitig in den Vorwalzen und in den Fertigwalzen gearbeitet werden kann.

Eine wagerechte Linie, durch die Mitte der Kaliber gelegt, nennt man die Walzlinie. Da, wie schon erwähnt wurde, der Durchmesser der oberen Walze innerhalb des Kalibers etwas grösser zu sein pflegt, als der der unteren, so legt man die Walzlinie entsprechend tiefer als die Mittellinie zwischen beiden Walzenachsen. Bei offenen Kalibern (wie auch bei Blechwalzen) pflegt der Unterschied 1½—3 mm zu betragen, bei flachen geschlossenen Kalibern 2—8 mm, bei tief eingeschnittenen geschlossenen Kalibern liegt oft mehr als zwei Drittel der Kaliberhöhe unter der Mittellinie, und der Abstand der letzteren über der Walzlinie beträgt mitunter mehr als 25 mm.

Die stärkere Streckung, welche hierbei durch die obere Walze mit grösserem Durchmesser und deshalb grösserer Umfangsgeschwindigkeit ausgeübt wird, nennt man Oberdruck.

Die Querschnittsabnahme, welche das Walzstück beim Durchgange durch ein Kaliber erfährt, nennt der Walzhüttenmann den Druck des Kalibers. Das Verhältniss des Querschnitts eines nachfolgenden Kalibers zu dem des vorausgegangenen heisst der Abnahmecoëfficient.

Die Wahl eines geeigneten Abnahmecoëfficienten ist von Wichtigkeit für die Kalibrirung. Von seiner Grösse ist zunächst unmittelbar die Anzahl der Kaliber oder Stiche [1]) abhängig, welche das Walzstück im Ganzen zu durchlaufen hat, also auch, wie schon hervorgehoben wurde, die Zeitdauer des Walzens, die Höhe der Arbeitslöhne, die

1) Kaliber ist, wie erläutert, die auf der Walze angebrachte Profilbegrenzung an und für sich; den Ausdruck Stich gebraucht der Betriebsmann für das Kaliber, wenn damit der Begriff seiner Benutzung verbunden werden soll.

Anzahl der erforderlichen Erhitzungen. Je grösser der Coëfficient ist, je geringer also der Druck, desto zahlreichere Kaliber sind erforderlich.

Im Betriebe nun pflegt man bei dem Entwerfen der Kaliber nicht einen bestimmten Abnahmecoëfficienten als maassgebend für die Zahl der Kaliber anzunehmen, sondern man schlägt den umgekehrten Weg ein: nach den bereits vorliegenden Erfahrungen beim Walzen ähnlicher Profile bestimmt man zunächst die Anzahl der erforderlichen Stiche oder Kaliber, und aus dieser lässt sich dann leicht, da die Querschnitte des ersten und letzten Kalibers gegeben sind, der durchschnittliche Abnahmecoëfficient berechnen. Ist der Anfangsquerschnitt = H, der Endquerschnitt = h und die Anzahl der Stiche = n, so ist der Abnahmecoëfficient $\alpha = \sqrt[n]{\frac{h}{H}}$.

Je weicher, bildsamer das zu walzende Eisen, je grösser die Arbeitsleistung der Maschine und je grösser die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen ist, je rascher also die letzteren strecken, und je weniger das Eisen während des Streckens abgekühlt wird, desto kleiner kann der Abnahmecoëfficient, desto geringer die Anzahl der Kaliber sein. Kohlenstoff- und schwefelarmes Schweisseisen erträgt starke Abnahme, rothbrüchiges Eisen oder harter Stahl geringe.

In den meisten Fällen schwankt der Abnahmecoëfficient zwischen 0,7 und 0,9 und beträgt durchschnittlich bei der ganzen Reihe der zu einander gehörigen Kaliber annähernd 0,8. Betrachtet man jedoch die Abnahmecoëfficienten einer solchen Reihe einzeln, so zeigt sich, dass sie keineswegs immer übereinstimmen. Bisweilen, wo die Kalibrirung rein nach Gutdünken vorgenommen wurde, bewegen sich jene Abweichungen in ganz zufälligen, regellosen Schwankungen; in anderen Fällen dagegen haben die stattfindenden Abweichungen ihre volle Berechtigung und lassen eine gewisse Gesetzmässigkeit erkennen. In dem ersten Kaliber ist das Walzstück am heissesten, am weichsten; je mehr Kaliber es durchläuft, desto mehr wird es abgekühlt und desto härter wird es, desto grösser ist also auch der erforderliche Arbeitsaufwand, um den Stab durch das Kaliber hindurchzuführen. Dieser Umstand könnte es mithin rechtfertigen, wenn der Abnahmecoëfficient stetig zu-, der Druck der Kaliber stetig abnehme.

Andrerseits giebt man, um einem Zerbrechen der Walze thunlichst vorzubeugen, den in der Mitte gelegenen Kalibern gern einen etwas weniger starken Druck, also einen grösseren Abnahmecoëfficienten als denjenigen, welche in der Nähe der Walzenenden angeordnet sind.

Durch Linienverzeichnung kann man unschwer dahin gelangen, bei Bemessung der Kaliberquerschnitte diesen Umständen Rechnung zu tragen. In allen Fällen muss entweder die Anzahl der Stiche oder der durchschnittliche Abnahmecoëfficient als gegeben betrachtet werden; ferner ist die Grösse des ersten und des letzten Kaliberquerschnitts gegeben. Unter der vorläufigen Annahme, dass der Abnahmecoëfficient bei allen Kalibern unverändert bleibe, lässt sich alsdann leicht die Grösse der einzelnen Kaliber berechnen. Trägt man nun die Anzahl der erforderlichen Stiche als Abscisse, die Grösse der

Kaliberquerschnitte als Ordinaten eines rechtwinkligen Coordinatensystems auf, so erhält man eine Curve, welche anfangs steil abfallend sich nach dem Ende hin mehr und mehr verflacht.

Es verhalte sich z. B. der Querschnitt des Anfangskalibers für irgend einen zu walzenden Stab zu dem des Endkalibers = 120 : 16,28, und man habe sich für 12 anzuwendende Kaliber entschieden, so ist der durchschnittliche Abnahmecoëfficient

$$\alpha = \sqrt[12]{\frac{16{,}28}{120}} = 0{,}847.$$ [1])

Berechnet man mit Hülfe dieses Abnahmecoëfficienten die Kaliberquerschnitte für den Fall, dass die Abnahme unverändert bleibt, so erhält man folgende Ziffern

0 Stich	120,0
1 „	101,37
2 „	86,02
3 „	61,67
6 „	44,21
8 „	31,69
10 „	22,66
12 „	16,28

und trägt man nun diese Werthe als Ordinaten ein, so erhält man die in Fig. 226 als volle Linie verzeichnete Curve.

Hätte man in den ersten Kalibern in Rücksicht auf die höhere Temperatur des Eisenstabes einen kleineren Coëfficienten (stärkeren Druck), in den Endkalibern dagegen einen höheren Coëfficienten (schwächeren Druck) als den mittleren gewählt, so würde man, wie leicht zu ermessen ist, eine Curve erhalten haben, welche anfänglich steiler abfiel als die gezeichnete, um später flacher als diese auszulaufen. Umgekehrt wird man, wenn man zuvor eine derartige Curve entwirft, leicht die entfallenden Querschnitte aus der Länge der Ordinaten abnehmen und die jedesmaligen Abnahmecoëfficienten daraus berechnen können.

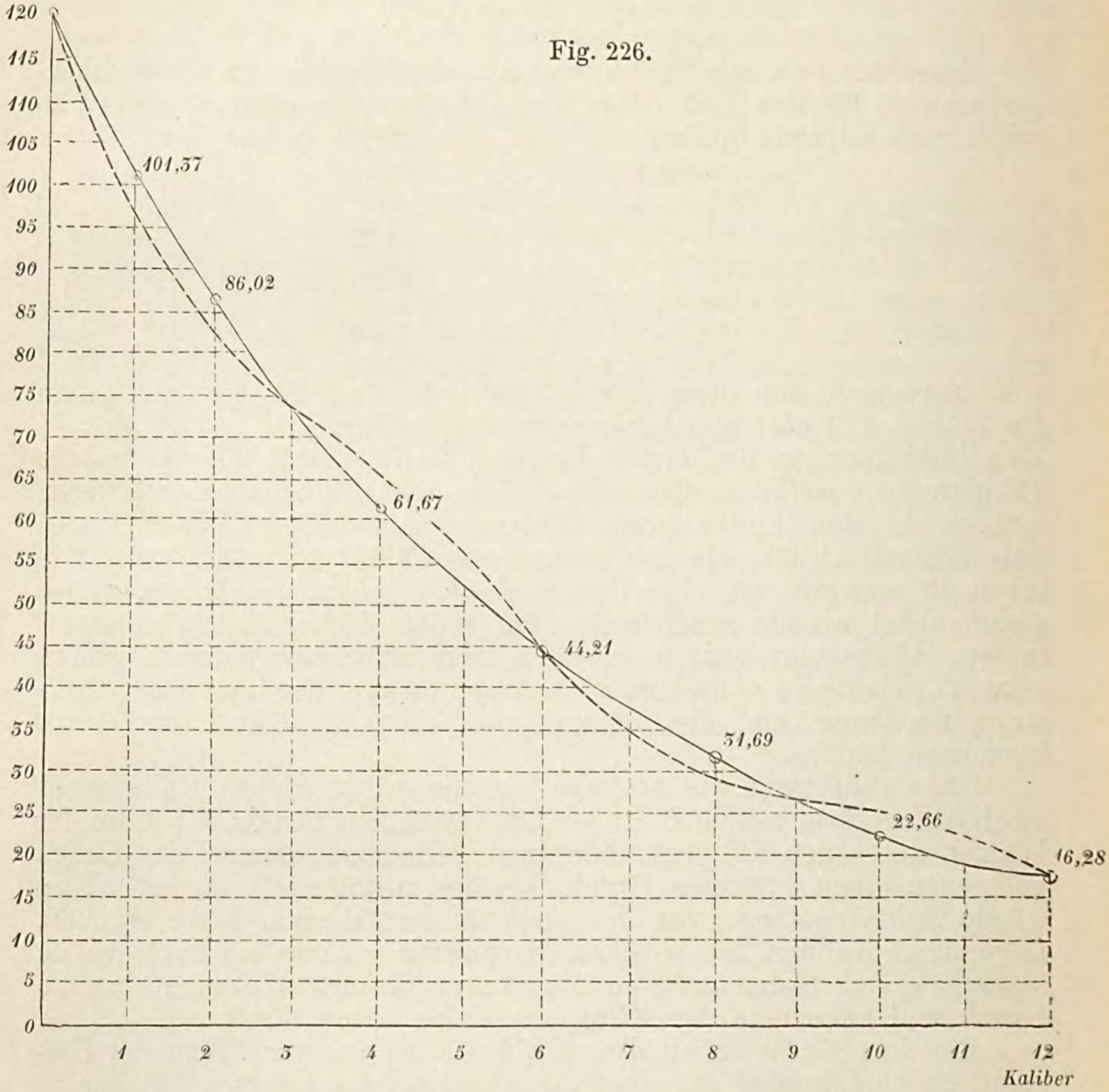
Läge andrerseits die Aufgabe vor, die erforderlichen Kaliber auf zwei Walzgerüste mit je 6 Stichen zu vertheilen, den in der Mitte der Walzen gelegenen Kalibern aber einen geringeren, den an den Enden gelegenen einen stärkeren Druck, als der mittlere ist, zu geben, so würde sich eine Curve von der punktirt gezeichneten Form ergeben. Diejenigen Kaliber, bei welchen die punktirte Linie am flachsten ist (3 und 9), haben den grössten Abnahmecoëfficienten, d. h. geringsten Druck und müssen in der Mitte der Walze liegen.

Bei dem Entwerfen der Kaliber ist nun vor Allem der Umstand zu berücksichtigen, dass die Abnahme des Querschnitts nur in der Höhenrichtung, niemals in der Breite stattfinden kann. Mit anderen Worten: jedes Kaliber muss mindestens ebenso breit sein als das Walzstück, welches hindurchgehen soll; gewöhnlich nimmt man das Kaliber etwas breiter, um die Entstehung eines allzu beträchtlichen Seitendruckes zu vermeiden. Ist dieser Seitendruck zu gross, so haftet nicht allein das Metall fester an den Walzen, sondern es entstehen durch

1) Nach E. Blass, Beitrag zur Theorie der Abnahmecoëfficienten bei der Walzenkalibrirung. „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 189.

das Hineindrücken des weichen Metalls in die Fugen zwischen beiden Walzen Bärte, welche sich oft nur schwierig und unvollkommen entfernen lassen. Je ausgiebigere Gelegenheit dem Eisen zur Ausbreitung gegeben ist, je geringer der Seitendruck also ausfällt, desto stärker kann die Abnahme der Höhenabmessung eines Kalibers sein. Auf diesem Umstande beruht die beim Walzen feinerer Eisensorten von quadratischem oder kreisrundem Querschnitte übliche Einschaltung

Fig. 226.



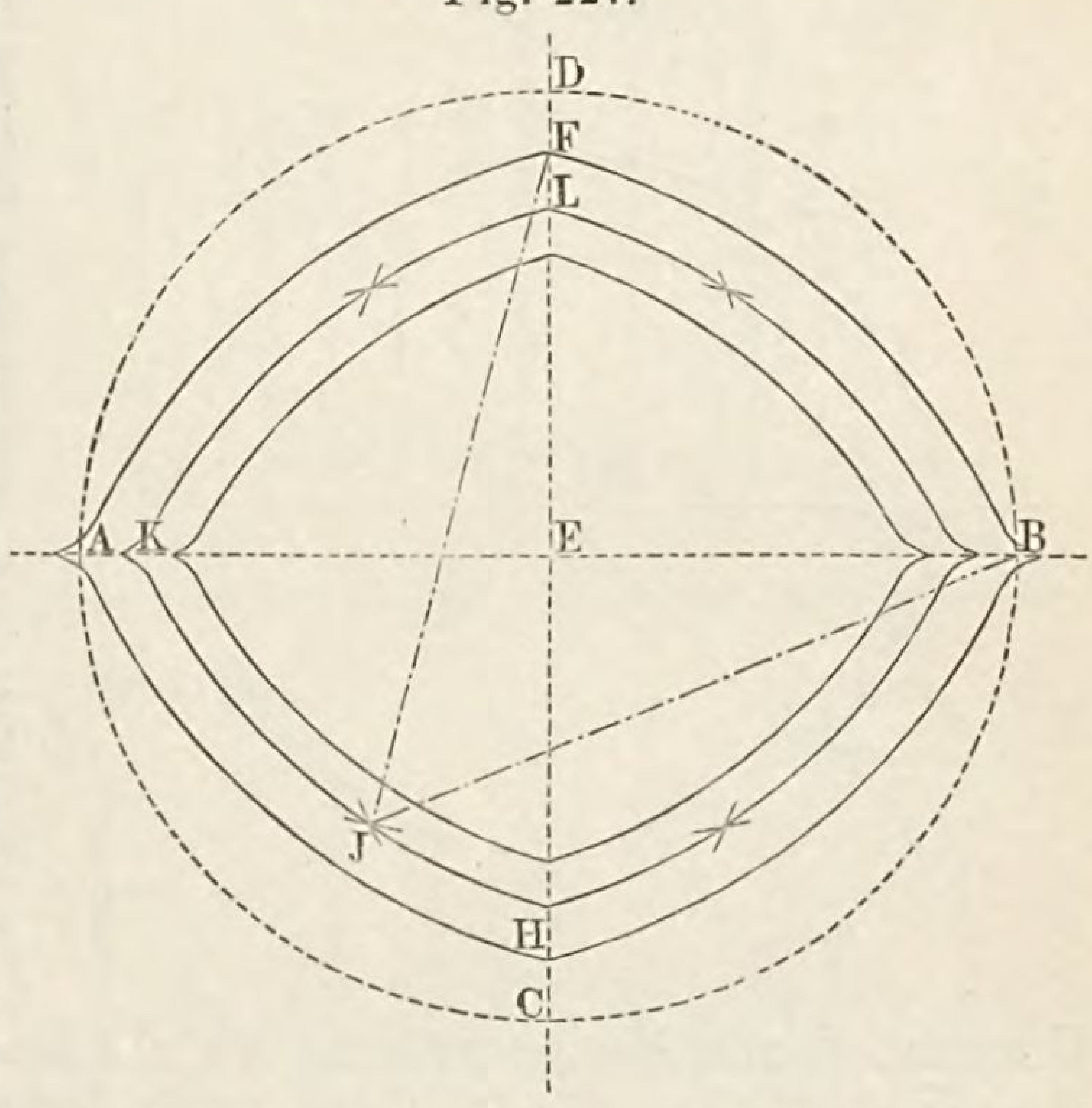
sogenannter Ovalkaliber ⬭, durch zwei flache Kreisbogen begrenzt, welche bei starkem Höhendrucke eine fast unbegrenzte Ausbreitung ermöglichen.

Jene Thatsache nun, dass eine Querschnittsabnahme nur in der Höhenrichtung stattfinden kann, eine, wenn auch geringe Ausbreitung in wagerechter Richtung dagegen nothwendig ist, führt eine stete Verbreiterung des Walzstückes herbei, sofern es stets in derselben Lage durch die verschiedenen Kaliber geführt wird. Ist eine Ver-

breiterung nicht beabsichtigt, so lässt sich Abhülfe schaffen, indem man das Walzstück, nachdem es durch ein oder mehrere Kaliber hindurchgegangen ist, um 90 Grad dreht, so dass nunmehr in dem folgenden Kaliber eine Verkleinerung derjenigen Abmessung herbeigeführt wird, welche in dem vorausgehenden Kaliber verbreitert wurde.

Stäbe mit Profilen regelmässiger Form (Quadratstäbe, Rundstäbe), welche auf geometrisch ähnliche Profile verkleinert werden sollen, pflegt man nach jedem Durchgange um 90 Grad zu drehen. Jedes folgende Kaliber erhält mindestens die Höhe des vorausgegangenen zur Breite und eine dem Abnahmecoëfficienten entsprechende geringere Höhe, hat also eine gedrückte Form; indem man den Stab durch das letzte Kaliber zwei oder mehrere Male nach steter Drehung um 90 Grad hindurchführt, berichtigt man die anfänglich zu grosse Breite.

Fig. 227.



So z. B. benutzt man als Vorkaliber zum Walzen von Quadrateisen, Rundeisen, Flacheisen und anderen einfach gestalteten Eisensorten häufig Spitzbogenkaliber, offene, vierseitige, durch Kreisbogen begrenzte Kaliber mit senkrecht stehender Diagonale. Die rechts befindlichen Walzen des in Fig. 195 (Seite 736) dargestellten Walzwerkes sind mit solchen Spitzbogenkalibern versehen. Die Aufzeichnung der auf einander folgenden Spitzbogenkaliber kann in der durch Fig. 227 dargestellten Weise geschehen.[1]) Ist AB die Diagonale des zu walzenden Eisenblockes oder Packetes, $\frac{7}{8}$ der Abnahmecoëfficient, so nehme man $EF = EH = \frac{7}{8}\, AE$, und man erhält hierdurch die Höhe des Kalibers. Die begrenzenden Bogen lassen sich in folgender Weise zeichnen. Mit dem Halbmesser $FJ = \frac{3}{4}\, AB$ beschreibt man die Kreisbogen AF, FB, BH und AH, worauf man die Ecken mit einer schwachen Erweiterung abrundet. Das folgende Spitzbogenkaliber erhält nun die Höhe des vorausgegangenen zur Breite, also $EK = EF$. Die Höhe EL wird, sofern der frühere Abnahmecoëfficient beibehalten wird, $= \frac{7}{8}\, EK$; die Bogen werden wie vorhin gezeichnet. Ebenso schliessen sich die noch weiter folgenden Kaliber an.

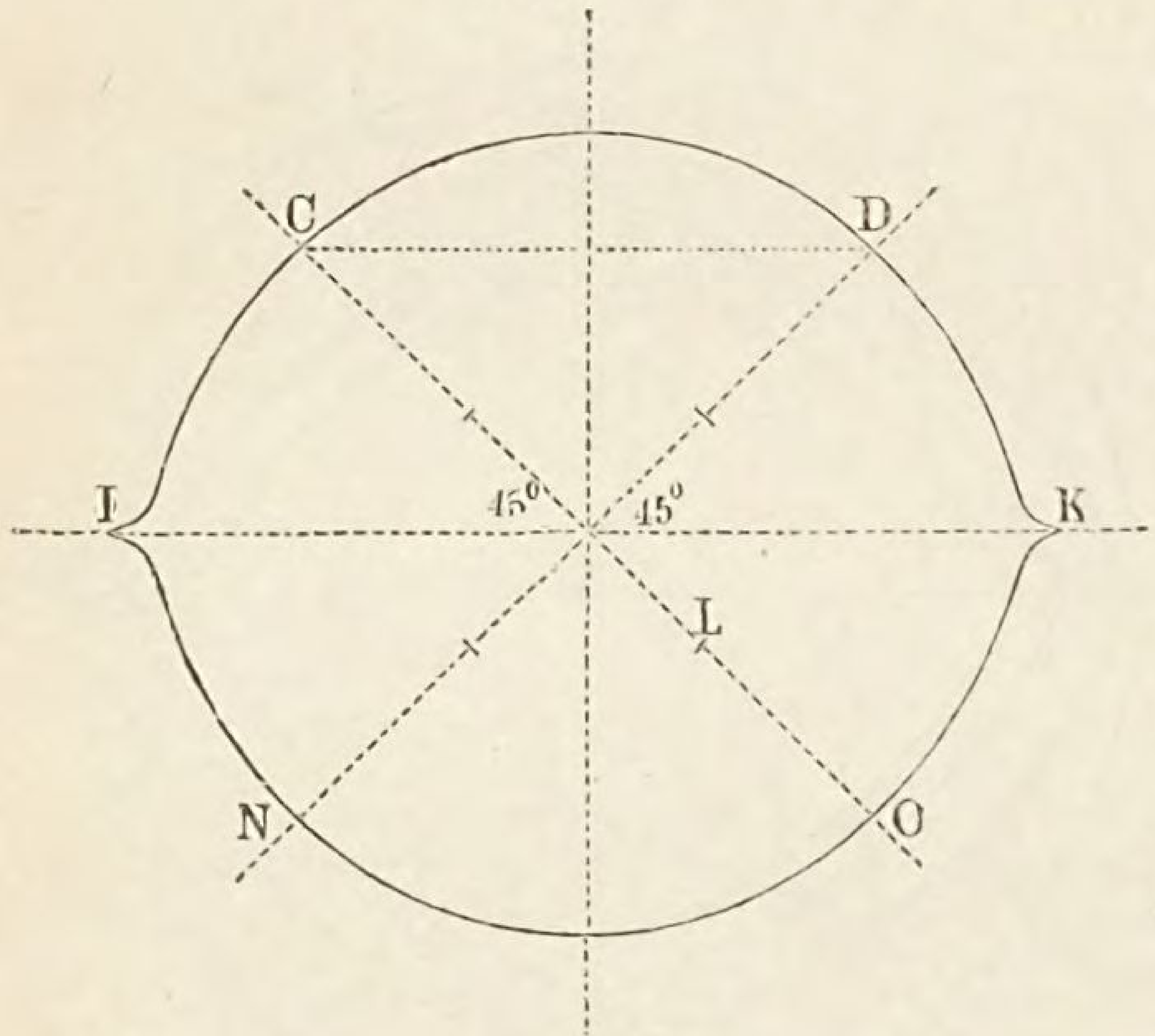
Aehnlich wie Spitzbogenkaliber, d. h. mit senkrecht stehender Diagonale, werden Quadrateisenkaliber gebildet. Ihre Höhe ist aus den erörterten Gründen etwas geringer als die Breite; in Wirklichkeit besitzen sie also die Form eines Trapezes, dessen oberer und unterer Winkel 92 bis 92½ Grad (statt 90 Grad) beträgt. Da aber der ge-

1) Nach Daelen, vergleiche Literatur.

walzte Stab in der Mitte der Seitenflächen stärker zu schwinden pflegt als in der Nähe der Kanten, würden die Flächen leicht concave Form erhalten, wenn die Begrenzungen des Kalibers genau geradlinig wären; man giebt ihnen daher gern, wie den Spitzbogenkalibern, etwas gebauchte Form, zumal für grössere Abmessungen, um den Fehler zu vermeiden.

Die Abbildung Fig. 228 zeigt als ferneres Beispiel, wie sich Rundeisenkaliber entwerfen lassen. *CD* und *NO* sind Viertelkreisbogen, deren Durchmesser *CO* gleich dem Durchmesser des herzustellenden Stabes ist. Mit der Weite *CD* beschreibt man von den Ecken *C*, *D*, *N*, *O* aus Bogen, welche die Durchmesser *CO* und *DN* schneiden, und in den Durchschnittspunkten *L* u. s. w. liegen nun die Mittelpunkte für die Kreisbogen *CI*, *DK*, *IN*, *KO*, welche die seitliche Begrenzung des Kalibers bilden.

Fig. 228.



In den Eckpunkten *I* und *K*, wo die Fuge der beiden Walzen liegt, rundet man das Kaliber durch eine schwache Verbreiterung ein wenig aus, um die Walze vor Rissen zu schützen. Der Durchmesser des einzuführenden Stabes darf, wie erwähnt, nicht grösser sein als *IK*, und nach einmaligem Durchgange wird der Stab um 90 Grad gedreht und nochmals hindurchgeführt, damit auch jene Abmessung auf den kleinsten Kaliberdurchmesser verringert werde.

Bei weniger ebenmässigen Formen, deren Breite grösser ist als die Dicke, ist ein solches Drehen des Walzstückes um 90 Grad nach jedem Durchgange nicht erforderlich; wohl aber schaltet man, wenn nach dem Hindurchgange durch mehrere Kaliber die Ausbreitung allzu beträchtlich geworden sein sollte, ein sogenanntes Stauchkaliber ein, dessen Zweck es ist, eine Zusammendrückung jener zu gross gewordener Abmessung zu bewirken, nachdem das Walzstück um 90 Grad gedreht wurde. Dieser Fall tritt z. B. bei Eisenbahnschienenwalzen ein, deren Kalibrirung bei Besprechung der Anfertigung der Schienen nochmals Erwähnung finden wird, in ihrer allgemeinen Anordnung bei Zweiwalzwerken jedoch durch die Abbildungen Fig. 229 und 230 veranschaulicht werden kann.[1]) Fig. 229 zeigt die Kaliber der Vorwalzen, Fig. 230 die der Fertigwalzen. Die Kaliber 3, 5 und 8 sind Stauchkaliber.

Die Kalibrirung der Walzen für Profile, welche an verschiedenen Stellen sehr verschieden starke Querschnittsabmessungen besitzen, wird durch den Umstand erschwert, dass die schwächeren Theile rascher

1) Aus J. Thime, Indicatorversuche beim Walzen von Rohschienen auf Poutiloffhütte. St. Petersburg 1883.

Schienenwalzen

Maafse in Millimetern.

Fig. 229.

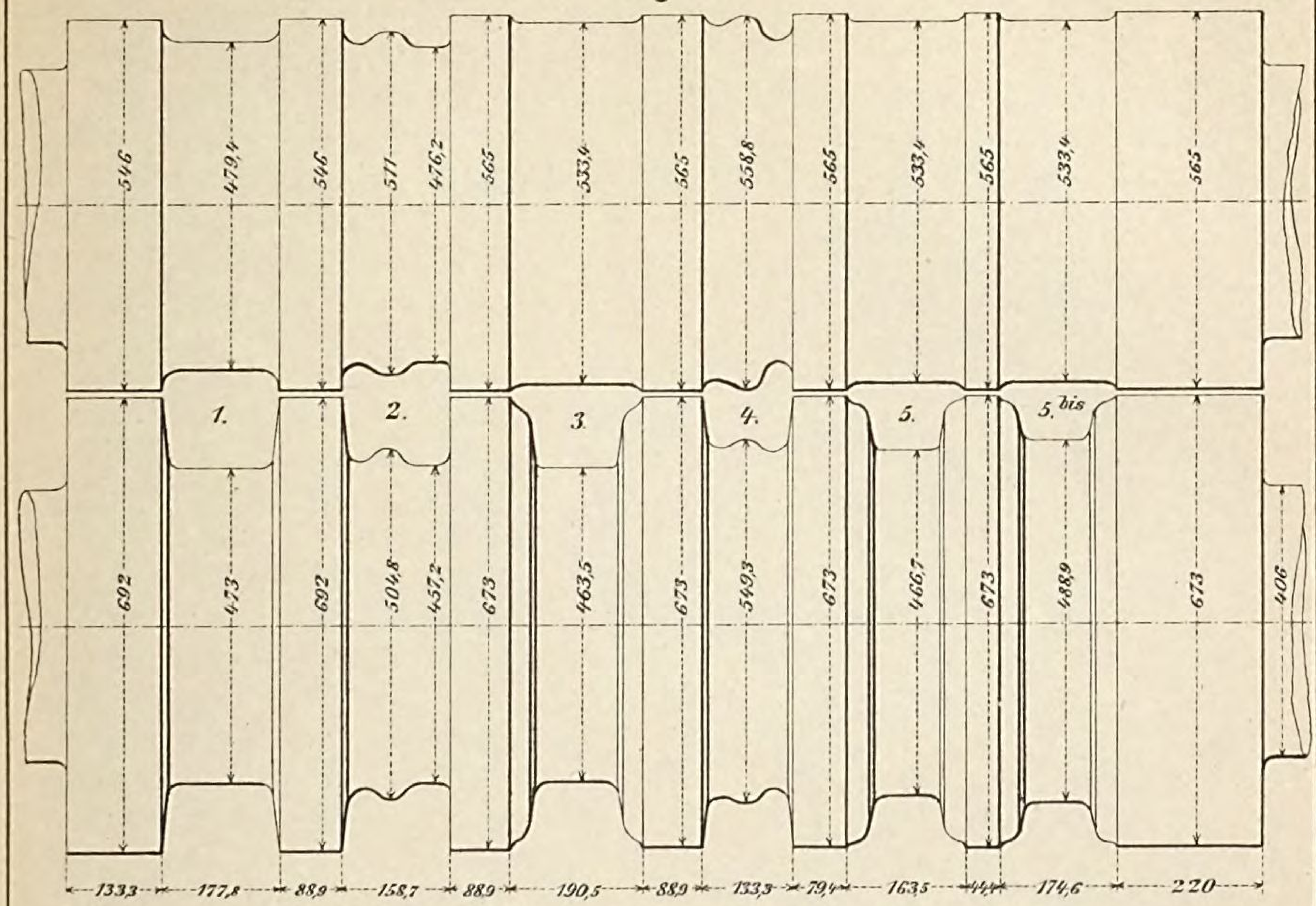
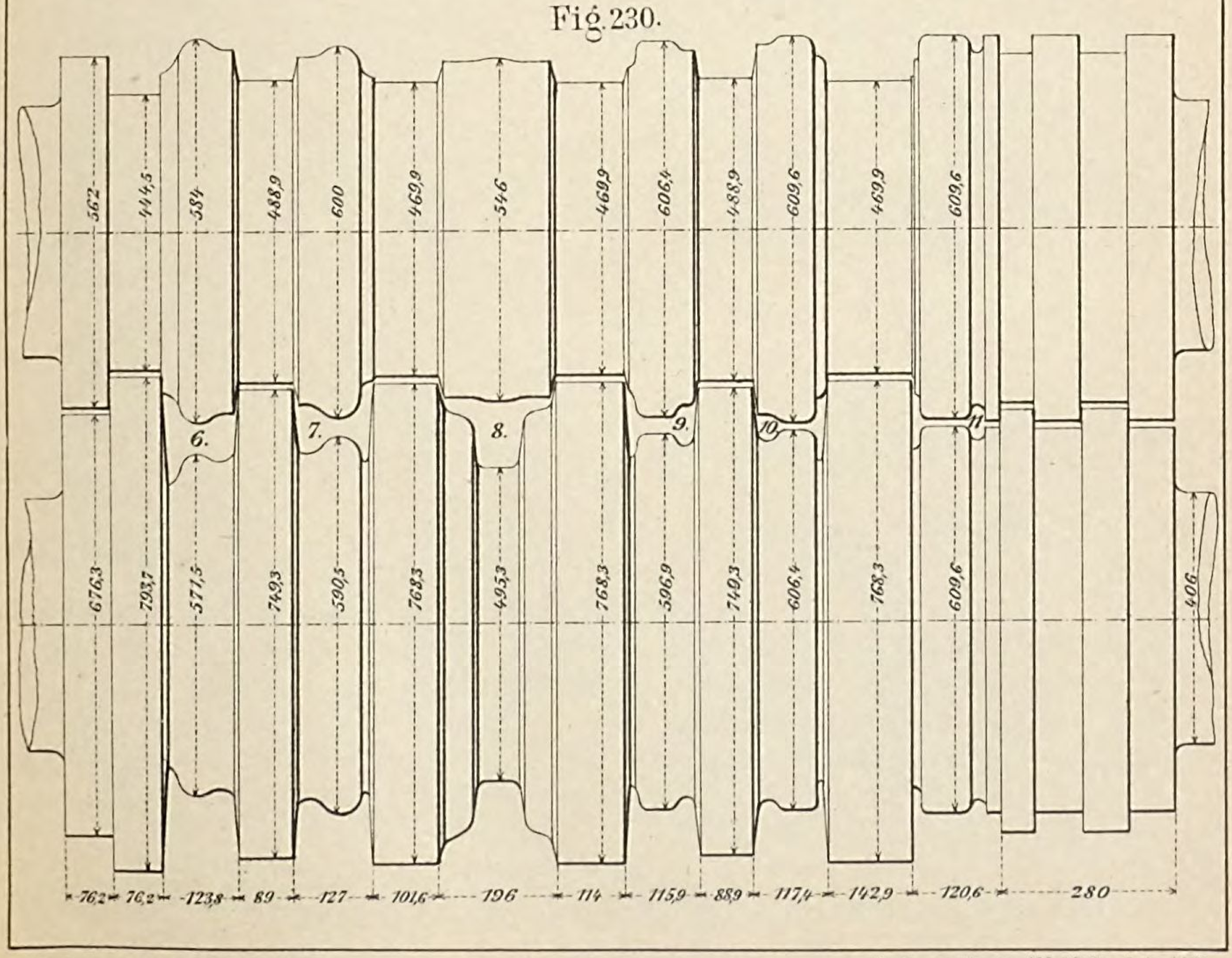


Fig. 230.



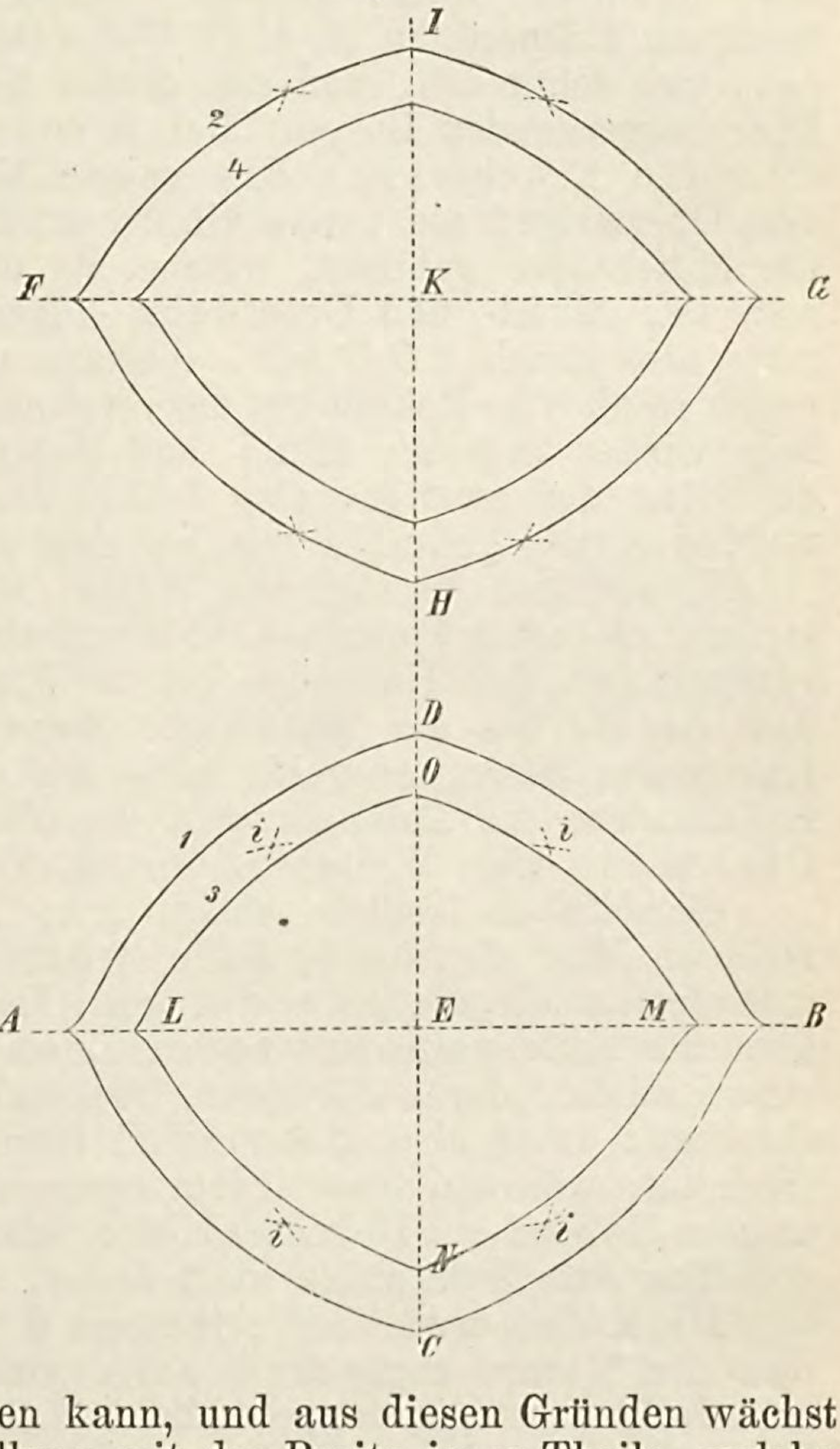
Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

abkühlen als die stärkeren, dadurch härter werden und dem Zerreissen leichter unterworfen sind. Man sucht diese Schwierigkeit dadurch zu umgehen, dass man die stärkeren Querschnitte zuerst, die schwächeren, rascher erkaltenden zuletzt ausbildet.

Eine andere, mitunter noch grössere Schwierigkeit bereiten solche Profile, deren Kaliber an einzelnen Stellen des Querschnitts erheblich tiefer als an anderen eingeschnitten sind, an den ersten also der Walzenachse auch näher liegen als an den letzteren. Bei dem Kaliber einer Eisenbahnschiene, welche in liegender Stellung gewalzt werden muss, bildet der Fuss der Schiene eine solche eingeschnittene Stelle; in noch stärkerem Maasse ist dieses bei vielen Sorten **T**- und Doppelt-**T**-Eisen der Fall, dessen Steg in dem Kaliber wagerecht liegt, während die Schenkel als senkrechte Einschnitte erscheinen. Die Umfangsgeschwindigkeit der Walze und somit auch das Maass der Streckung ist an den tief eingeschnittenen Stellen des Kalibers geringer als an den höher liegenden; es tritt eine Zerrung ein, welche eine Beschädigung des Walzstückes oder Spannung in dem fertigen Stabe erzeugen kann. Es kommt bei derartigen Formen der Umstand hinzu, dass die Ausbildung der im Kaliber senkrecht stehenden Flächen (des Fusses der Schienen, der Schenkel des **T**-Eisens) nur durch Seitendruck erfolgen kann, und aus diesen Gründen wächst die Schwierigkeit der Herstellung mit der Breite jener Theile, welche in dem Kaliber als schmale und tiefe Einschnitte erscheinen.

Fig. 231.



Bei Dreiwalzen wird die Aufgabe, fortschreitend abnehmende Kaliberquerschnitte anzuordnen, durch den Umstand erschwert, dass hier die in der Mittelwalze enthaltene Kaliberhälfte ebensowohl mit dem Kaliber der Unterwalze als dem der Oberwalze zusammenpassen muss. Am einfachsten gestaltet sich die Lösung dieser Aufgabe, wenn in offenen Kalibern einfache Querschnitte gewalzt werden, bei denen es auf genaue Ebenmässigkeit nicht ankommt.

Fig. 231 zeigt z. B., wie man bei dem Entwurfe von Spitzbogen-

kalibern für Dreiwalzen verfahren kann. Der Abnahmecoëfficient sei hier wieder $^7/_8$; AB die Diagonale des durch das erste Kaliber hindurchgehenden Walzstückes. Man nimmt also $CD = {^7/_8}\,AB$, vertheilt jedoch die gesammte Abnahme derartig, dass nur ein Drittel in die Unterwalze, zwei Drittel in die Mittelwalze fallen; es wird also $CE = AE - {^1/_3} \cdot {^1/_8}\,AB = {^{11}/_{24}}\,AB$; $DE = AE - {^2/_3} \cdot {^1/_8}\,AB = {^{10}/_{24}}\,AB$; $CE + DE = CD = {^7/_8}\,AB$. Die Bogen werden ebenso wie bei den Spitzbogenkalibern der Zweiwalzen (Fig. 227) verzeichnet, d. h. man nimmt die Weite $^3/_4\,AB$ in den Zirkel, beschreibt aus den gefundenen Eckpunkten A, D, B, C die Bogen, welche in den Punkten $i\,i$.. sich schneiden, und aus diesen Kreuzungspunkten die das Kaliber begrenzenden Bogen. Bei A und B giebt man auch hier eine schwache Erweiterung. Das zweite Kaliber liegt zwischen Mittel- und Oberwalze; die untere Hälfte wird durch die nämliche Furche der Mittelwalze gebildet, welche als obere Kaliberhälfte des ersten zwischen Mittel- und Unterwalze liegenden Kalibers diente. FHG muss also gleich ABD sein. Alsdann nimmt man $HJ = {^7/_8}\,CD$ und erhält so die vier Eckpunkte des zweiten Kalibers. Das dritte Kaliber liegt wieder zwischen Mittel- und Unterwalze; seine Breite ist gleich der Höhe des zweiten, also $LM = HJ$; die Eckpunkte N und O werden ebenso gefunden wie bei dem ersten Kaliber, u. s. f.

Hinsichtlich der Art und Weise, wie man auch bei Herstellung weniger einfacher Formen, z. B. Eisenbahnschienen, in Dreiwalzwerken versucht hat, dem Umstande bei der Kalibrirung Rechnung zu tragen, dass das Kaliber der Mittelwalze ebensowohl mit dem der Ober- als Unterwalze zusammengreift, muss auf die unten gegebene Literatur, insbesondere die Abhandlungen von Daelen, Hollenberg und Diekmann über Walzenkalibrirung, verwiesen werden.

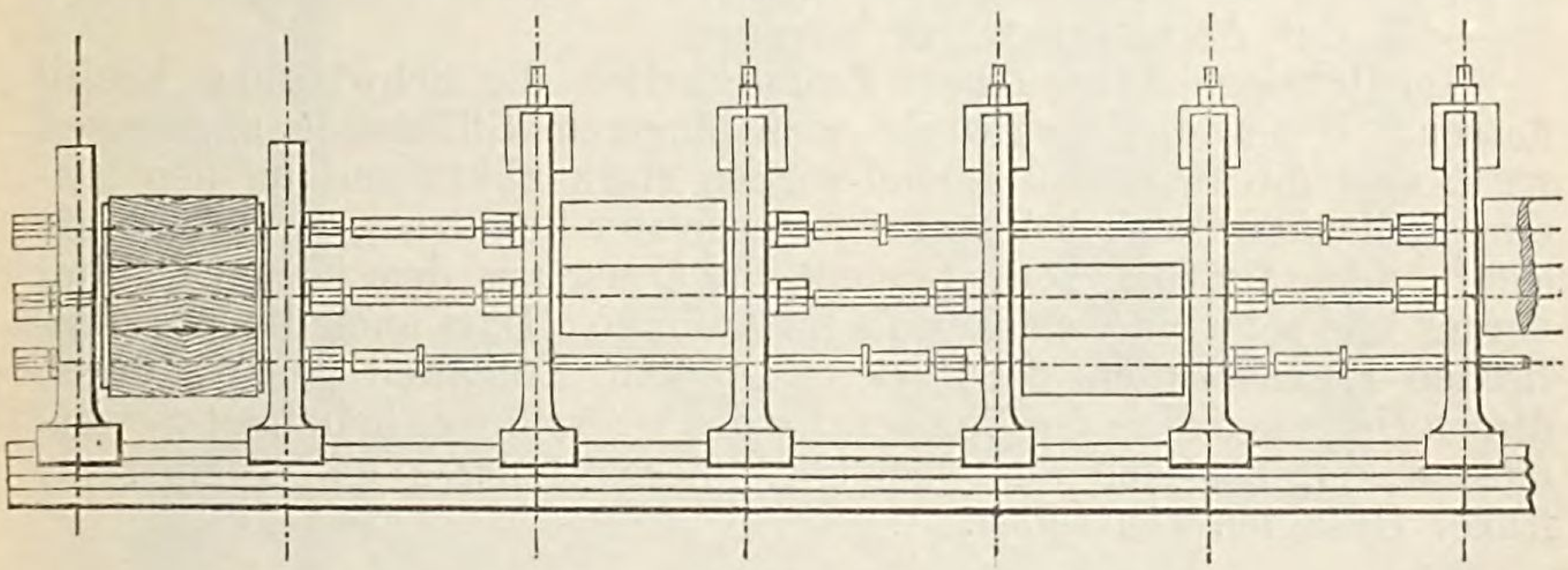
Gewöhnlich freilich schlägt man in solchen Fällen einen einfacheren Weg ein, die in Rede stehende Schwierigkeit zu umgehen: man verlegt die oberen und unteren Kaliber derartig, dass jedes Kaliber der Mittelwalze entweder einem Kaliber der Oberwalze oder einem solchen der Unterwalze, nicht aber beiden zugleich angehört, oben und unten also abwechselnd immer nur ein benutztes Kaliber erscheint, während über jedem unteren und unter jedem oberen benutzten Kaliber ein Blindkaliber, eine einfache Furche, in welcher der Ring der Mittelwalze Platz findet, erscheint.

Die soeben erwähnte Vertheilung der Kaliber hat jedoch die Folge, dass die Walzen ungünstiger ausgenutzt werden; für die gleiche Anzahl Kaliber ist die doppelte Zahl Walzen erforderlich als bei einem Dreiwalzwerke, dessen Walzen in der zuerst erwähnten Weise kalibrirt sind, die anderthalbfache Zahl als bei einem Zweiwalzwerke mit der gleichen Kaliberzahl. Eine kalibrirte Walze aber ist ein kostspieliges Inventarstück, und jede Walze ruft Zapfenreibung hervor. In Rücksicht hierauf hat man, zuerst in Belgien, den Dreiwalzwerken mitunter eine derartige Anordnung gegeben, dass in einem und demselben Walzgerüste immer nur zwei Walzen über einander liegen, die Stelle der dritten aber durch eine Kupplung eingenommen wird, welche die Bewegung auf das benachbarte Walzgerüst überträgt. Die Skizze Fig. 232 zeigt diese Einrichtung. Die beiden in einem Gerüste lie-

genden Walzen werden nunmehr ebenso wie Zweiwalzen kalibrirt, d. h. die Blindkaliber fallen weg, und die Zahl der erforderlichen Walzen beträgt nur zwei Drittel von derjenigen, welche bei Anwendung von Blindkalibern erforderlich gewesen sein würde; das Walzstück aber muss, um zurückgewalzt werden zu können, nach dem benachbarten Gerüste hinübergeschafft werden. Letzterer Umstand mindert unleugbar die Vortheile dieses Walzwerkssystemes beim Walzen schwererer Gegenstände ab; sehr geeignet ist es zum Walzen von Feineisen, welches in den Fertigwalzen eine bedeutende Länge annimmt und aus diesem Grunde, noch ehe es das eine Paar Walzen ganz verlassen hat, an dem vorderen Ende umgebogen und in den Walzen eines andern Gerüstes zurückgewalzt wird, so dass es unter Umständen gleichzeitig in vier oder fünf Kalibern gestreckt wird.

Einige besondere Kaliberformen verdienen noch kurze Erwähnung.

Fig. 232.



Wenn man auf der Oberfläche einer glatten Walze oder innerhalb eines Kalibers einzelne Vertiefungen oder erhabene Stellen anbringt, so werden sie auf dem hindurchgehenden Stabe sich abdrücken, und ein längerer Stab wird eine ganze Reihenfolge solcher Abdrücke aufweisen. Man nennt solche Kaliber periodische und benutzt sie für verschiedene Zwecke, deren Besprechung freilich mehr dem Gebiete der Metallverarbeitung als dem der Eisenhüttenkunde angehört. Es sei deshalb nur erwähnt, dass sich beispielsweise Fabrikzeichen, Ziffern, Inschriften u. s. w. auf diese Weise leicht einwalzen lassen; Hufstabeisen mit vorstehenden Buckeln wird ebenso gewalzt, u. s. f.

Giebt man dem Umfange der einen von zwei zu einander gehörigen Walzen excentrische Form, so lassen sich Gegenstände mit keilförmigem Querschnitte dazwischen walzen. Auch diese Verwendung des Walzwerkes gehört in das Gebiet der Metallverarbeitung.[1])

Bei Herstellung von Flacheisen (mit flach rechteckigem Querschnitte) wendet man bisweilen, um an Walzenlänge zu sparen, Walzen mit offenen Kalibern an, zwischen denen die Ränder fehlen, so dass der Durchmesser der Walzen von dem einen Ende zum andern terrassen-

1) Abbildungen solcher Walzen: A. Ledebur, Die Verarbeitung der Metalle auf mechanischem Wege, Seite 493 und 495.

artig mehr und mehr abnimmt. Solche Walzen heissen Staffel- oder Stufenwalzen. Da der Seitendruck in den Kalibern fehlt, kann zwar das Strecken rasch vorwärts gehen, die Ränder des Eisens aber werden nur unvollkommen ausgebildet.

Wenn es bei der Herstellung stabförmiger Eisensorten auf genaue Innehaltung bestimmter Querschnittsabmessungen ankommt, ist der Umstand in Betracht zu ziehen, dass das glühende Eisen, nachdem es das letzte Kaliber verlassen hat, sich abkühlt und demnach sich zusammenzieht. Man muss also den Abmessungen des letzten Kalibers so viel zugeben, als dieser Zusammenziehung, d. h. dem Schwind- oder Schrumpfmaasse des Eisens entspricht. Diese Schwindung jedoch ist nicht in allen Fällen gleich gross; sie ist abhängig von der Beschaffenheit der Eisensorte, welche gewalzt wird, und von der Temperatur, mit welcher der Eisenstab die Walzen verlässt, und pflegt $^1/_{50}$—$^1/_{64}$ der Abmessungen zu betragen.

Im Uebrigen können auch Zufälligkeiten die Schwindung beeinflussen. Wenn das Walzwerk nach längerem Stillstande angelassen wird, sind die Walzen kalt und wirken stark abkühlend auf den hindurchgehenden Stab; bei länger fortgesetzter Benutzung erwärmen sie sich[1]), auch der Stab kommt demnach wärmer aus dem letzten Kaliber heraus und schwindet stärker als im Anfange. Dass auch die physikalischen Eigenschaften, die Härte, Festigkeit, Zähigkeit u. s. w., durch diesen Unterschied in der Temperatur des Walzstückes beinflusst werden müssen, ergiebt sich aus dem über diese Einflüsse der Temperatur früher Gesagten von selbst.

d) Die Universalwalzwerke.

Man nennt Universalwalzwerke solche Walzwerke, welche die Möglichkeit gewähren, ohne Anwendung eigentlicher, d. h. eingeschnittener und unveränderlicher Kaliber Stäbe von zwar ähnlichen, aber verschieden grossen Querschnitten zu walzen. Man erspart dadurch erheblich an Walzen, und die Erfindung eines gut brauchbaren Universalwalzwerkes ist daher seit Jahrzehnten das Ziel zahlreicher Walzwerksleute gewesen.

Vorzugsweise sind es Stäbe mit rechteckigem Querschnitt (Flachstäbe), für deren Herstellung die Universalwalzwerke Benutzung gefunden haben.

Wenn man bei einem Walzwerke ausser einem Paar wagerechter Walzen mit entlasteter, verstellbarer Oberwalze auch ein Paar senkrechter Walzen unmittelbar vor oder hinter jenen anordnet, deren Abstand von einander ebenfalls verstellbar ist, und welche die Seitenflächen des hindurchgehenden Walzstückes bearbeiten, so lassen sich mit Hülfe dieser zwei Paar Walzen offenbar Eisenstäbe von verschie-

1) Walzen für gröbere Eisensorten pflegt man zwar durch hinüber rieselndes Wasser zu kühlen, ohne dass jedoch dadurch eine Anwärmung derselben völlig verhindert würde.

denen Querschnittsabmessungen herstellen. Das erste auf diesem Grundsatze beruhende Universalwalzwerk wurde durch Daelen in Hoerde in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts erbaut, und seine Ein-

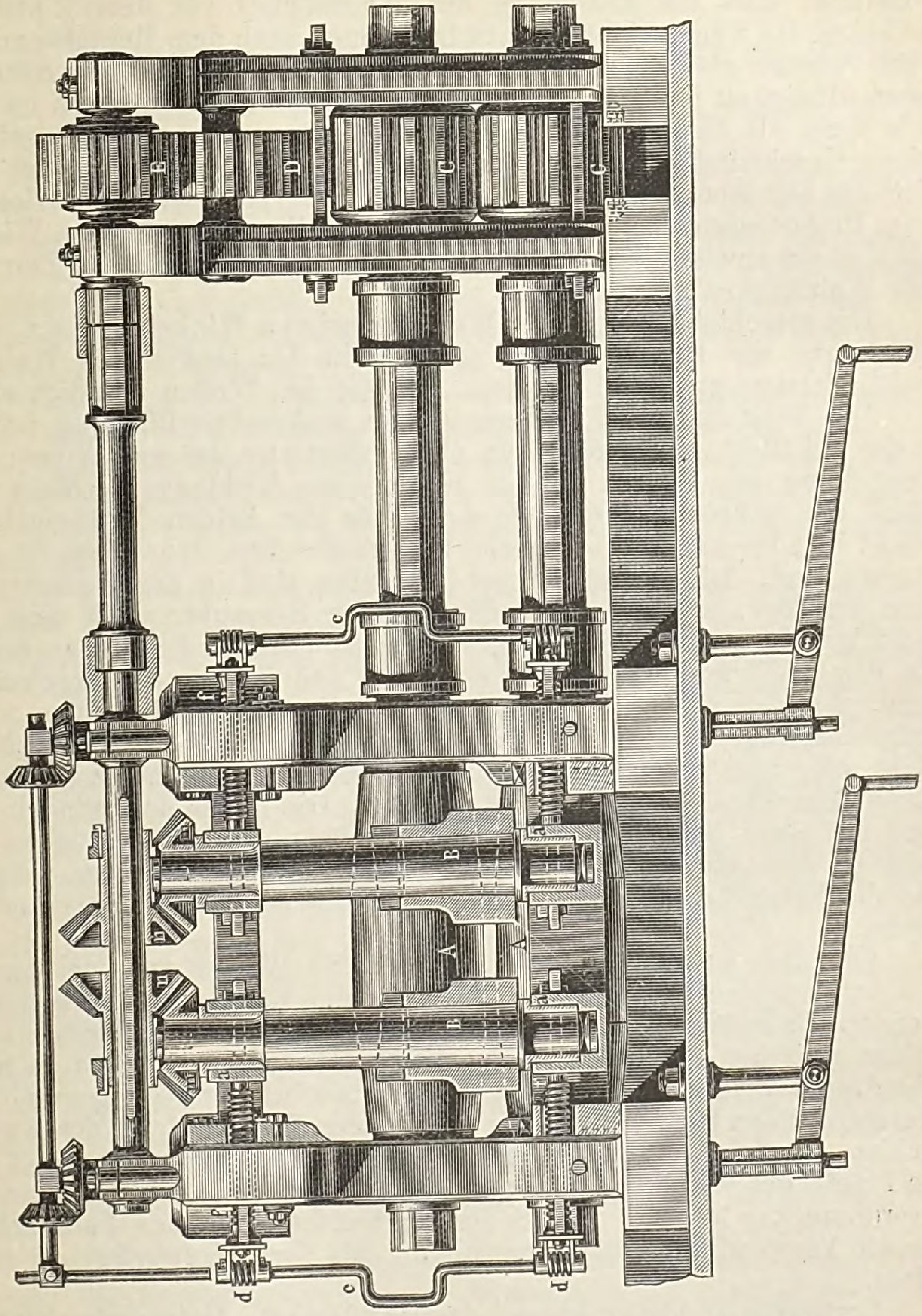


Fig. 233.

richtung ist ziemlich unverändert bis heute beibehalten worden. In Fig. 233 ist dieses Daelensche Universalwalzwerk dargestellt ($^1/_{32}$ der wirklichen Grösse). *AA* sind die wagerechten, *BB* die senkrechten Walzen. Erstere erhalten wie gewöhnlich ihren Antrieb durch die beiden Getriebe *CC* und sind mit Hülfe der unterhalb der Sohl-

platte sichtbaren Hebel entlastet; auf die senkrechten Walzen wird die Bewegung durch Vermittelung der von dem oberen Getriebe *C* aus angetriebenen Räder *D* und *E* übertragen. In Rücksicht auf den Umstand, dass die Bewegung des Walzstückes vor dem Eintreten zwischen die wagerechten Walzen langsamer, nach dem Herauskommen aber rascher als diejenige der Walzoberfläche ist, die Bewegungsgeschwindigkeit der Walzenoberflächen *BB* mithin auch etwas anders sein muss als diejenige der Walzen *AA*, eine ganz genaue Regelung dieser Geschwindigkeit von vornherein aber nicht immer möglich ist, sitzt das Getriebe *E* nicht fest auf seiner Welle, sondern es ist zwischen zwei Reibungsscheiben eingeklemmt, welche ihm bei grösseren Widerständen ein gewisse Beweglichkeit sichern, um Stauchung oder Zerrung des Walzstückes zu vermeiden.

Die verschiebbar auf ihrer Welle befestigten Winkelräder *nn*, *mm* übertragen die Bewegung auf die Achsen der senkrechten Walzen, welche letztere aus Stahl gegossen und auf den Wellen befestigt sind.

Die Verstellung der Walzen *AA* in senkrechter Richtung erfolgt in der bei Blechwalzen üblichen, oben erläuterten Art und Weise; die Verstellung der Walzen *BB* in wagerechter Richtung geschieht mit Hülfe der gekröpften Spindeln *cc*. Jede der beiden Walzenachsen steckt in zwei Lagern *aa*, welche mit wagerechten Schrauben *ff* verbunden sind. Die Muttern dieser Schrauben sind in den Walzenständern befestigt, so dass durch Drehung der Schrauben auch eine geradlinige Vor- oder Rückwärtsbewegung sowohl der Schrauben selbst als der an ihnen befestigten Lager mit den Walzen hervorgebracht wird. Auf den nach auswärts gerichteten Köpfen der Schrauben sind Schneckenräder befestigt (in der Abbildung sind die Schneckenräder nicht erkennbar), welche von den an den Enden der Spindeln *cc* sichtbaren Schnecken *dd* angetrieben werden. Die Lager der Spindeln *cc* sind mit einer Hülse über die Enden der Schrauben *ff* geschoben, so dass sie von diesen bei ihrer Fortbewegung mitgenommen werden und der Eingriff der Schnecken in die betreffenden Räder unverändert bleibt.

Von dem Umstande, ob die senkrechten Walzen vor oder hinter den wagerechten liegen, hängt die Form der Ränder des herauskommenden Walzstückes ab. Liegen sie davor, geht das Walzstück also zuletzt zwischen den wagerechten Walzen hindurch, so erhält es hier Oberdruck, wird ein wenig ausgebreitet und bekommt einen rundlich heraustretenden Rand; liegen die senkrechten Walzen hinter den wagerechten, so wird der Rand hier gestaucht und tritt gratartig über die Fläche des Walzstückes hinaus. Gewöhnlich zieht man die erstere Anordnung der letzteren vor, da der abgerundete Rand des Walzstückes für die Verwendung weniger nachtheilig als der aufgeworfene zu sein pflegt.

Vorzugsweise häufig kommt das Daelensche Universalwalzwerk zur Anfertigung breiter Flacheisensorten zur Anwendung, welche z. B. beim Dampfkesselbau Benutzung finden. Auch für Darstellung von Doppelt-T-Eisen mit breiten Schenkeln hat man es bisweilen benutzt. Näheres hierüber, sowie über die sonstigen vorgeschlagenen Einrichtungen von Universalwalzwerken findet der Leser in den unter Literatur

aufgeführten Abhandlungen. Auch die Patentschriften bringen alljährlich neue Entwürfe von Universalwalzwerken, ohne dass jedoch eins davon bis jetzt allgemeinere Verbreitung gefunden hätte.

e) Die Walzenzugsmaschinen und der Arbeitsverbrauch zum Walzen.

Die zum Betriebe eines Walzwerkes erforderliche Maschine pflegt man als Walzenzugsmaschine zu bezeichnen.

Nur in verhältnissmässig seltenen Fällen ist eine ausreichend grosse Wasserkraft verfügbar; weit häufiger findet die Dampfmaschine Verwendung. Fast immer benutzt man liegende Maschinen. Expansion kommt regelmässig, Condensation häufig zur Anwendung. Eine einzige grösssere Maschine treibt nicht selten mehrere Walzstrecken; zur Bewegungsübertragung pflegt man Seile statt der bei kleinen Walzwerken in früherer Zeit üblichen Getriebe zu benutzen.

Wichtig ist die Bemessung der erforderlichen Leistungsfähigkeit einer anzulegenden Walzenzugsmaschine. Eine allzu reichliche Veranschlagung der Kraftleistung vertheuert die Anlagekosten und erhöht den Dampfverbrauch; schlimmer noch ist eine zu geringe Leistung der Maschine: das Walzen wird verzögert, die Arbeitslöhne u. s. w. werden gesteigert.

Die gesammte von der Maschine zu leistende Arbeit setzt sich zusammen aus der zum Strecken und Hindurchziehen des Walzstückes und der zur Ueberwindung der Reibung erforderlichen Arbeit. Erstere ist von der Beschaffenheit und Temperatur des zu walzenden Materiales wie von dem Abnahmecoëfficienten abhängig; letztere von der Art und Weise der Lagerung, der Instandhaltung der Lager und dem durch die Druckschrauben der Ständer ausgeübten Drucke. In jedem Falle sind die Reibungsverluste beträchtlich, und sie können bis 0,5 von der geleisteten Gesammtarbeit betragen.[1]) Wendet man aber, wie bei allen nur in einer Richtung laufenden Walzwerken, ein Schwungrad an, so kommt die von diesem während des Durchganges des Walzstückes abgegebene Arbeit von der obigen Summe in Abzug, und die erforderliche Kraftleistung der Maschine fällt deshalb, wie schon früher erwähnt wurde, um so kleiner aus, je grösser die Pausen zwischen den Durchgängen sind (während deren das Schwungrad Arbeit aufspeichert) und je grösser das Gewicht des Schwungrades ist.

Es folgt aus diesen Darlegungen, dass eine theoretische Berechnung der erforderlichen Kraftleistung der Betriebsmaschine eines Walzwerkes allein nicht ausreichend ist, ein zuverlässiges Ergebniss zu liefern. Man ist gezwungen, sich auf Erfahrungen im Betriebe zu stützen.

In neuerer Zeit, wo man, durch äussere Verhältnisse dazu veranlasst, die Leistungsfähigkeit der Walzwerke zur Abminderung der Selbstkosten der Erzeugnisse mehr und mehr zu vergrössern suchte, indem man die Geschwindigkeit der Walzen beschleunigte, statt der Zweiwalzwerke Dreiwalzwerke einführte, die Pausen zwischen den Durchgängen der Walzstücke abkürzte, war man deshalb auch ge-

1) Versuche: „Stahl und Eisen“ 1881, Seite 57; 1884, Seite 697.

zwungen, kräftigere Maschinen als früher zum Betriebe zu benutzen. Für Rohschienenwalzwerke, Zwei- oder Dreiwalzwerke, zum ersten Auswalzen des Schweisseisens bestimmt, genügt eine Arbeitsleistung der Maschine von 50—80 Pferdestärken; Zweiwalzwerken für gewöhnlichere Sorten Handeleisen mittlerer Abmessungen (Quadrateisen, Rundeisen u. s. w.), welche etwa 75 Umgänge in der Minute machen, pflegt man 75—100pferdige Maschinen zu geben; Schnellwalzwerke für feine Eisensorten (Walzdraht) mit etwa 400 Umgängen in der Minute und 6—8 Walzgerüsten erhalten Maschinen von 400—600 Pferdestärken. Kleine Blechwalzwerke mit Schwungrad für dünne Eisensorten (Schwarzblech) lassen sich bei 40 Umgängen in der Minute schon mit einer 20—30pferdigen Maschine treiben; für Kesselbleche wendet man 100—200pferdige Maschinen an, und zu dem Betriebe eines Kehrwalzwerkes ohne Schwungrad für die Darstellung der schwersten Blechsorten ist eine 800—1000pferdige Maschine erforderlich.

Am deutlichsten zeigt sich die Steigerung der Ansprüche, welche man an die Leistungsfähigkeit der Walzenzugsmaschinen stellt, bei den Eisenbahnschienen-Walzwerken. Während man in den sechziger Jahren, wo man sich der Zweiwalzwerke zum Auswalzen bediente und Schweisseisen als Material für die Schienen verwendete, Maschinen mit 250 Pferdestärken als ausreichend betrachtete, pflegt man in der Jetztzeit den Schienenwalzwerken 600—800pferdige, mitunter auch noch stärkere Maschinen zu geben und dadurch ihre Leistungsfähigkeit auf oft das Dreifache der früheren Zeit zu steigern.

4. Die Luppenquetschen und Luppenmühlen.

Alle unter die in der Ueberschrift enthaltenen Benennungen fallenden Vorrichtungen sind lediglich dazu bestimmt, die weichen, von flüssiger Schlacke durchsetzten, formlosen Eisenklumpen, Luppen genannt, welche das erste rohe Erzeugniss der Schweisseisendarstellung zu bilden pflegen, einer vorläufigen Reinigung von Schlacke zu unterziehen. Zur Bearbeitung von Flusseisenblöcken oder für eine weitergehende Formgebung des Eisens sind sie nicht geeignet.

Geschieht jene Reinigung durch mehrfach wiederholtes Drücken des weichen Eisens, so heisst die Vorrichtung Luppenquetsche oder Luppenpresse; wird dagegen die Luppe zwischen Walzen gerollt und dabei ausgedrückt, so pflegt man die Vorrichtung als Luppenmühle zu bezeichnen.

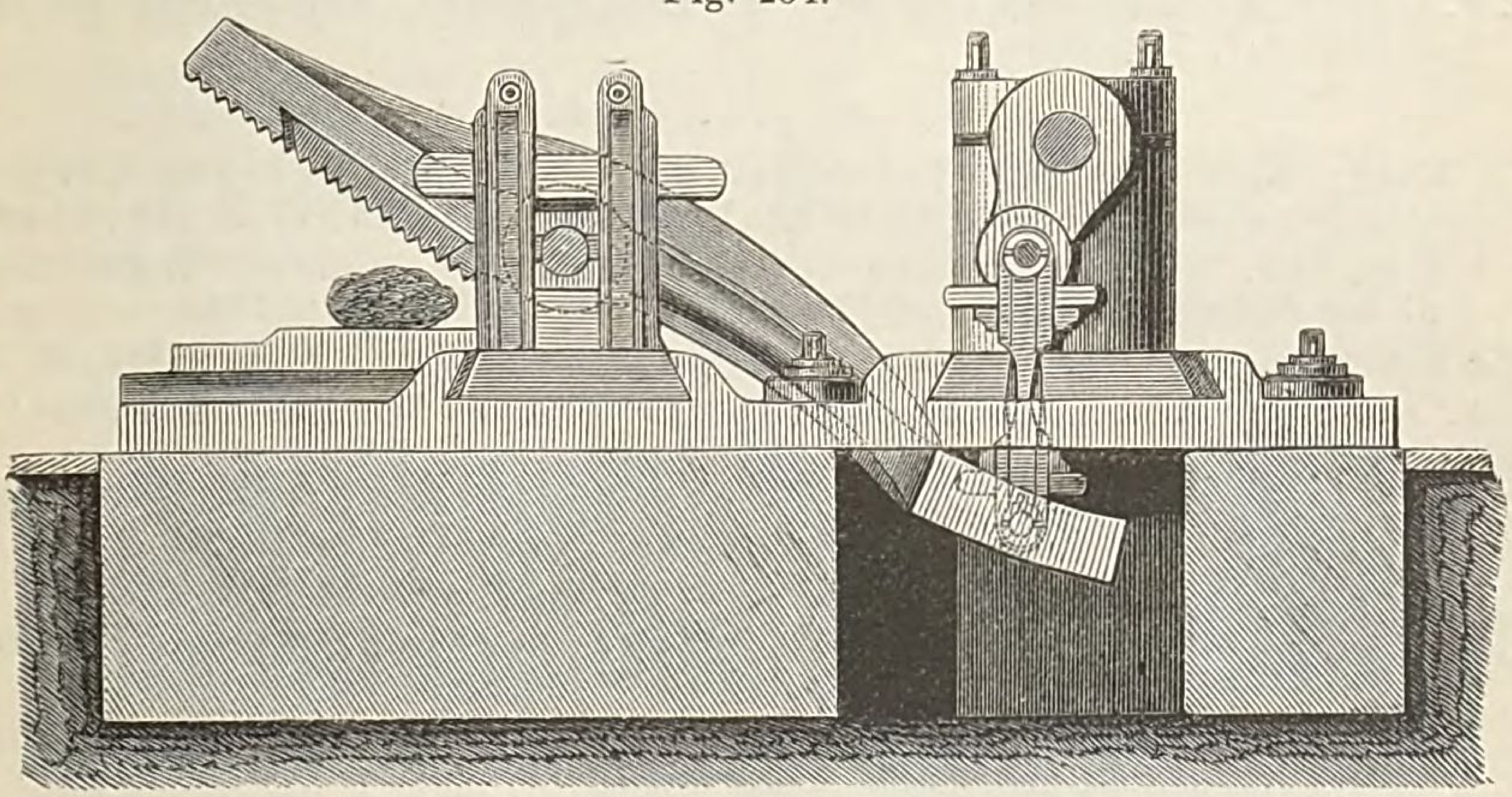
Mannigfache Einrichtungen sind im Laufe der Zeit für den genannten Zweck ersonnen worden, von denen jedoch nur wenige sich einer häufigeren Anwendung zu erfreuen vermochten. In der Jetztzeit besitzt keine mehr eine besondere Bedeutung. Sie sind fast überall durch den Dampfhammer ersetzt.

Die am häufigsten benutzte Vorrichtung dieser Art, welche früher in fast jeder Puddelhütte angetroffen werden konnte, ist die in Fig. 234 abgebildete Luppenquetsche, welcher man ihrer eigenthümlichen Form halber auch scherzweise den Namen Alligatorquetsche gegeben hat. Sie besteht aus einem um wagerechte Zapfen schwingenden, kräftig gebauten Gusseisenhebel, dessen längeres Ende durch eine Schubstange

oder eine Scheibenkurbel eine auf und nieder gehende Bewegung erhält. Das kürzere Ende des Hebels bildet gewissermaassen den Oberkiefer des Maules. An seiner Unterseite ist eine auswechselbare Platte aus Hartguss oder Stahl eingesetzt, welche mit nach rückwärts gerichteten Zähnen zum besseren Erfassen der Luppe versehen zu sein pflegt. Die untere Hälfte des Maules bildet der festliegende, aber ebenfalls auswechselbare Ambos. An seiner vorderen Kante befindet sich ein treppenstufenartiger Absatz, welcher eine Stauchung der während des Auspressens zu einem prismatischen Blocke geformten Luppe in der Längenrichtung ermöglicht.

Man giebt den Luppenquetschen einen Hub von 0,25 — 0,30 m am äussersten Ende. Die Länge des vorderen Hebelarmes beträgt bis zum Drehungspunkte etwa 1,3 m, die Länge des hinteren Hebelarmes etwa 2 m. Die Breite des vorderen Theiles ist ungefähr 0,5 m. Bei 60—100 Hüben in der Minute und einem Arbeitsaufwande von 10—12

Fig. 234.



Pferdestärken ist eine solche Luppenquetsche im Stande, 12—16 Puddelöfen zu bedienen.

Vor den Dampfhämmern haben die Luppenquetschen zwar den Vortheil der billigeren Anlage und einfacheren Bedienung voraus, aber die Grösse der zu zängenden (auszuquetschenden) Luppen ist bei ihnen an gewisse Grenzen gebunden, und das Auspressen der Schlacke erfolgt weniger vollständig als bei der Bearbeitung unter dem Hammer. Letzterer Umstand ist es vornehmlich, welcher ihren Ersatz durch Dampfhämmer in den meisten Puddelhütten, wo sie früher in Benutzung waren, veranlasste.

Noch seltener sind Luppenmühlen in Anwendung. Es wird deshalb gerechtfertigt erscheinen, wenn hinsichtlich ihrer Einrichtung nur auf die gegebene Literatur, insbesondere auf v. Hauer, Hüttenwesensmaschinen, sowie auf Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, verwiesen wird, in welchen beiden Werken die meisten oder sämmtliche vorgeschlagenen Formen dieser Maschinen mit ausreichender Ausführlichkeit besprochen worden sind.

Literatur.

a) Grössere Werke.

J. v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen. 2. Auflage. Leipzig 1876 (S. 290 bis 468 Hämmer, S. 470—477 Luppenpressen und Luppenmühlen, S. 478—562 Walzwerke).

S. Jordan, Album du cours de métallurgie. Paris 1875 (Taf. 84—88 Dampfhämmer, Taf. 74, 75, 89—103, 114—122 Walzwerke).

P. v. Tunner, Ueber die Walzenkalibrirung für die Eisenfabrikation. Leipzig 1867.

Daelen, Hollenberg und Diekmann, Die Kalibrirung der Eisenwalzen. Drei von dem Vereine zur Beförderung des Gewerbfleisses preisgekrönte Abhandlungen. Im Sonderabdrucke in Berlin (Nicolai) 1870.

F. Neveu et L. Henry, Traité pratique du laminage de fer. Paris 1881 (enthält zahlreiche Beispiele der Kalibrirung).

A. Ledebur, Die Verarbeitung der Metalle auf mechanischem Wege. Braunschweig 1877 (S. 395—467 Hämmer, S. 480—526 Walzwerke).

E. F. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1892. Bd. III, S. 577—677, 719—795.

b) Abhandlungen.

Fr. Kick, Beiträge zur Kenntniss der Mechanik weicher Körper. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXIV, S. 465; Bd. CCXXXIV, S. 257 und 345.

J. A. Herrick, The eighty-ton-steam-hammer in Creusot. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VIII, p. 560.

Die Fundamentirung der Dampfhämmer. „Stahl und Eisen" 1885, S. 71.

C. A. Ångström, Ueber Dampfhämmer und hydraulische Pressen. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 293.

F. Gautier, Forgeage comparé au marteaupilon et à la presse. Bulletin de la société de l'industrie minérale, série 2, tome III, livr. 3 (1889).

W. D. Allen, Die Schmiedepresse. „Stahl und Eisen" 1891, S. 895.

R. M. Daelen, Die Schmiedepresse der Compagnie des forges de Chatillon-Commentry. „Stahl und Eisen" 1892, S. 57.

R. M. Daelen, Die Pressen mit hohem Wasserdruck im Eisenhüttenbetriebe. „Stahl und Eisen" 1892, S. 155.

Ch. Dufour, Étude sur les presses à forger. Bulletin de la société de l'industrie minérale, série 3, tome VI (1892), p. 1037.

Böck, Versuche über den Kraftaufwand beim Walzen von Blech. Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben u. a., Bd. XXI (1873), S. 314.

C. Fink, Theorie der Walzenarbeit. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Bd. XXII, S. 200.

R. M. Daelen, Ueber die Bestimmung der Kraftleistung der Walzenzugsmaschinen und des Kraftverbrauches beim Walzen von Stahl und Eisen. Commissionsbericht, erstattet dem Verein deutscher Eisenhüttenleute. „Stahl und Eisen" 1881, S. 57 und 132.

E. Blass, Beitrag zur Theorie der Abnahmecoëfficienten bei der Walzenkalibrirung. „Stahl und Eisen" 1882, S. 189.

E. Blass, Bemerkungen über einige beim Walzen auftretende Erscheinungen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 233.

E. Blass, Zur Theorie des Walzprocesses. „Stahl und Eisen" 1882, S. 283.

Hollenberg, Bemerkungen zu den Vorgängen beim Walzen von Eisen. „Stahl und Eisen" 1883, S. 121.

J. Lüders, Kurze Besprechung der im Jahre 1881 angestellten Versuche über den Kraftverbrauch und die Arbeitspressungen des Walzprocesses. „Stahl und Eisen" 1884, S. 697.

P. v. Tunner, Ueber einige Neuerungen in der Einrichtung der Walzenstreckwerke. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1878, S. 216.

Erdmanns Triowalzwerk mit vollkommen entlasteter stellbarer Lagerung der Walzenzapfen. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 362.

E. Schwarz, Die Präcisionsstellung der Walzen bei Triowalzwerken. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1881, S. 14.

R. M. Daelen, Triowalzenständer mit Präcisionslagerung. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1881, S. 284.

R. M. Daelen, Ueber die Lagerung der Walzen in ihren Gerüsten. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1872, S. 662; 1877, S. 36.

Lagerung der Walzenzapfen bei Triowalzwerken. Oesterr. Zeitschr. 1885, S. 326.

A. Spannagel, Neue Schnellwalzwerksanlage der Eisenhütte Phönix. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 186.

A. L. Holley, American Rolling Mills. The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, p. 348.

B. C. Lauths Patent Three-high Plate- and Sheet-rolls. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, II, p. 86.

Lautsches Walzwerk für Darstellung von Weissblechen. Oesterr. Zeitschr. 1889, S. 63.

Ueber neuere Blockwalzwerke. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 495, 774.

Das Blockwalzwerk der Neu-British Iron Co. in Birmingham. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 324.

Reversirwalzwerk in Hoerde. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 12.

R. M. Daelen, Ueber das Vor- und Rückwärtswalzen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1875, S. 98.

Graham Stevenson, Reversing rolling-mills. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, II, p. 47.

D. Napiers differential friction-gear for reversing rolling-mills. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, II, p. 43.

Helmholtz, Ueber Reversirmethoden bei Walzwerken. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XVI, S. 667.

P. Tunner, Kitsons hydraulische Kupplung für Kehrwalzwerke. Zeitschr. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1881, S. 152.

Varley and Furness, Power-couplings for rolling-mills. The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, p. 166.

Ueberhebvorrichtung mit beweglicher Trittplatte „Stahl und Eisen“ 1881, S. 147.

Ueberhebvorrichtungen für Walzwerke. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXLIV, S. 363.

M. L. Valant, Tracé des cannelures de cylindres des divers systèmes d'emboitement des cylindres usités dans la pratique. Revue universelle, tome XXVIII, p. 79.

W. Hewitt, Construction of passes in rolls for reducing metals. Engineering and Mining Journal, vol. XLVI, p. 148.

R. M. Daelen, Ueber die Erzeugung von Walzdraht. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 177.

A. Thomas, Improvements in Belgian Three-high Rolling-mills. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, II, p. 439.

A. Klomanns Universalwalzwerk. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 7.

Ueber Universalwalzwerke. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1881, S. 570.

H. Sack, Neue Profileisen-Universalwalzwerke. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 765.

Ein neues Universalwalzverfahren. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 451.
The Freeman Universal Mill. The Iron Age 1893, p. 674.
The Reese Universal Beam Mill. The Iron Age 1893, p. 724.
J. Torka, Theorie des Mannesmannschen Röhrenwalzwerkes. Glasers Annalen, Bd. XXIII, S. 109; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, S. 842.
Reuleaux, Das Mannesmannsche Röhrenwalzverfahren. Glasers Annalen, Bd. XXVI, S. 265.
E. Freitag, Welche Anforderungen stellt man an Walzenzugsmaschinen und wie soll man sie bauen? Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1876, S. 417.
A. Trappen, Neue Walzenzugsmaschine der Märkischen Maschinenbauanstalt. „Stahl und Eisen“ 1881, S. 47.
Ernst Klein, Ueber die Kraftübertragung bei Drahtstrassen. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 234.
R. M. Daelen, Ueber die Fortschritte in der Construction von Walzenzugsmaschinen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 19.
Horn, Ueber die Fortschritte in der Construction von Walzenzugsmaschinen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 384.
F. Mors, Mittheilungen aus dem Grazer Südbahnwalzwerk (Beschreibung der Walzenzugsmaschine für ein Kehrwalzwerk). „Stahl und Eisen“ 1889, S. 1.
Reversirmaschine für das Panzerplattenwalzwerk von Fr. Krupp. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 509.
Neuere Walzwerksmaschinen. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 182.

III. Die Darstellung des Schweisseisens.

I. Allgemeines.

Alles bis gegen Ende des vorigen Jahrhunderts dargestellte schmiedbare Eisen war Schweisseisen; noch um die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts war die Menge des erzeugten und verbrauchten Flusseisens verschwindend klein im Vergleiche zu der Menge des dargestellten Schweisseisens. Erst die Erfindung neuerer Verfahren für Flusseisenerzeugung in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts, welche die Darstellung grösserer Mengen Flusseisen zu billigeren Gestehungskosten als bisher ermöglichten, bereitete einen Kampf vor zwischen Schweisseisen und Flusseisen um die Herrschaft auf dem Eisenmarkte, der zwar heute noch nicht völlig entschieden ist, dessen Ende aber zweifellos dereinst in einem Siege des Flusseisens bestehen wird.

Die schon vielfach erwähnte hauptsächlichste Eigenthümlichkeit des Schweisseisens ist sein Gehalt an eingemengter Schlacke. Diese Schlacke beeinträchtigt als eingelagerter fremder Körper die Festigkeit wie die Dehnbarkeit des Eisens und lässt sich nur theilweise durch fortgesetzte mechanische Bearbeitung entfernen, niemals aber auch hierdurch vollständig. Je höhere Ansprüche an die Eigenschaften des

Schweisseisens gestellt werden, desto länger muss demnach jene Bearbeitung fortgesetzt, auf desto dünnere Querschnitte muss das Eisen dabei ausgestreckt werden.

Im gewöhnlichen Handelseisen beträgt jener Schlackengehalt mitunter mehr als 2 Hunderttheile; in besseren Eisensorten, zumal im Schweissstahl, ist er erheblich geringer. Die Schlacke besteht zum grossen Theil aus Eisenoxyden. War bei der Herstellung des Schweisseisens die äussere Luft von der Oberfläche abgeschlossen, so kann die Zusammensetzung der dem erfolgenden Eisen beigemengten Schlacke ziemlich genau mit der Zusammensetzung der im Erzeugungsofen zurückbleibenden Schlacke übereinstimmen; waren aber die entstehenden Eisenkrystalle zeitweise der Einwirkung der Luft oder oxydirender Gase ausgesetzt (z. B. im Puddelofen), so kann die eingemengte Schlacke erheblich eisenreicher als die zurückbleibende sein. Auch der Phosphorgehalt der eingemengten Schlacke ist nicht selten wesentlich höher als derjenige der Ofenschlacke. Ein Bild des abweichenden Schlackengehaltes verschiedener Schweisseisensorten und seiner Zusammensetzung kann die nachfolgende Zusammenstellung (nach eigenen Untersuchungen) geben.

	Schlackengehalt des Eisens	Zusammensetzung der Schlacke					
	Hunderttheile	Fe[1])	SiO_2	P_2O_5	Mn	CaO	Al_2O_3
Rohschienen aus dem Puddelofen, sehnig	4,60	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.
Rohschienen aus dem Puddelofen, feinkörnig	3,12	„	„	„	„	„	„
Rheinisches Puddeleisen	2,34	58,40	0,40	16,10	„	—	—
Böhmisches Bandeisen (Puddeleisen)	0,41	28,56	15,18	26,01	0,80	3,93	13,17
Steirisches Hufnageleisen (Frischfeuereisen)	0,35	32,00	15,40	2,70	n. best.	—	—
Schwedisches Hufnageleisen (Frischfeuereisen)	0,17	n. best.	23,5	n. best.	„	—	—

In jedem Falle ist der Gehalt des Schweisseisens an zurückbleibender Schlacke um so geringer, je kleiner die Menge des mit einem Male dargestellten Eisens und je höher die bei der Darstellung herrschende Temperatur war (weil in der höheren Temperatur die Schlacke leichter aus dem Eisen ausfliesst), je dünnflüssiger die Schlacke an und für sich ist, und je weniger die gebildeten Eisenkrystalle noch oxydirenden Einflüssen unterworfen wurden.

Die Darstellung des Schweisseisens geschah im Alterthume und in den ersten Zeiten des Mittelalters bis zur Erfindung der Roheisendarstellung stets unmittelbar aus Erzen. Als man dann Roheisen zu gewinnen und zu benutzen gelernt hatte, trat neben jenes unmittelbare

1) Theils als FeO, theils Fe_2O_3 anwesend.

Verfahren die Verarbeitung des Roheisens zu schmiedbarem Eisen, das Frischen, anfangs nur vereinzelt und erst allmählich sich ausbildend, dann aber — besonders im 18. Jahrhundert — zu einem wichtigen Zweige des Eisenhüttengewerbes sich entfaltend und das ältere Verfahren mehr und mehr verdrängend. In der Jetztzeit bildet die Benutzung des Roheisens die Regel, die Darstellung des Schweisseisens unmittelbar aus den Erzen die Ausnahme.

Diese Thatsache kann auffallend erscheinen, wenn man erwägt, dass doch der Natur der Sache nach die Darstellung aus dem Roheisen umständlicher sein muss, als die Darstellung unmittelbar aus den Erzen. Die Erklärung liefert der Umstand, dass eine annähernd vollständige Reduction des Eisens aus seinen Erzen durch Kohle in einer Temperatur, welche die Gangarten der Erze zum Verschlacken bringt, nicht möglich ist, ohne dass nicht das entstehende Eisen zugleich grössere Mengen Kohlenstoff aufnimmt, sich dadurch in ein stahl- oder roheisenartiges Erzeugniss umwandelnd. Ein kohlenstoffarmes Eisen kann nur entstehen, wenn die Reduction unvollständig bleibt, d. h. wenn ein grösserer Theil des Eisens verschlackt wird. Es entsteht also stets bei diesen Verfahren eine eisenreiche Schlacke; ihr Eisengehalt steht im umgekehrten Verhältnisse zum Kohlenstoffgehalte des erfolgenden Eisens. Die Verschlackung des Eisens aber ist gleichbedeutend mit einem Eisenverluste, dessen Bedeutung um so schwerer wiegt, je höher die Erze im Preise stehen.

Man hat mehrfach die Klippe zu umschiffen gesucht, indem man die Erze nicht in Berührung mit den Brennstoffen zum Schmelzen erhitzte, sondern in Vermischung mit so viel Kohle, als eben zur Reduction erforderlich ist, und, eingeschlossen in Behältern, glühte. Schlackenbildung findet demnach nicht statt; alle Gangarten der Erze bleiben im Eisen zurück. Nur reine Erze sind überhaupt verwendbar. Damit aber die Kohle den glühenden Erzstücken ihren Sauerstoffgehalt vollständig entziehen kann, müssen diese in thunlichst kleinstückigem Zustande mit der Kohle gemischt werden. Auch das Eisen erfolgt demnach in kleinen Stücken, welche erst durch Schweissung vereinigt werden müssen und im frischen Zustande eine lockere, porige Beschaffenheit besitzen. Man hat das Erzeugniss dieser Eigenschaften halber Eisenschwamm benannt. Bei der Erhitzung zum Zwecke des Schweissens tritt bedeutender Verlust durch Oxydation ein, und der Erfolg des Verfahrens ist noch ungünstiger als beim Schmelzen mit Kohle. Ganz ebenso ist der Erfolg, wenn man, wie es ebenfalls versucht worden ist, Kohlenoxyd statt der Kohle als Reductionsmaterial verwendet.

Ein Phosphorsäuregehalt der Erze wird bei der unmittelbaren Darstellung schmiedbaren Eisens weniger vollständig reducirt als im Hochofen, wie schon auf Seite 288 erwähnt wurde. Dieselbe eisenreiche Schlacke, welche die Aufnahme grösserer Mengen von Kohlenstoff durch das entstehende Eisen verhindert, tritt auch der Phosphorreduction hemmend in den Weg. Dieses Verhalten des Phosphors wird nicht selten als Begründung dafür angeführt, dass man in einzelnen Gegenden (Nordamerika, Finnland), wo reiche aber phosphorhaltige Erze und neben ihnen Holzkohlen zu billigen Preisen zur

Verwendung stehen, noch heute uralte Verfahren zur unmittelbaren Darstellung von Schweisseisen beibehalten hat.

Trotz der unverkennbaren Schwächen der auf unmittelbare Darstellung schmiedbaren Eisens gerichteten Verfahren haben die Versuche, in lohnenderer Weise als bisher Schweisseisen aus den Erzen darzustellen, noch immer nicht ganz aufgehört. Ein Erfolg lässt sich jedoch um so weniger solchen Versuchen vorhersagen, als voraussichtlich, wie schon erwähnt wurde, das Schweisseisen von Jahr zu Jahr an Wichtigkeit einbüssen und durch Flusseisen mehr und mehr ersetzt werden wird.

2. Die Schweisseisendarstellung aus Erzen.

Bei fast allen Verfahren zur Darstellung von Schweisseisen aus Erzen bedient man sich entweder eines Feuers oder eines Schachtofens. Ersteres heisst Rennfeuer[1]), letzterer Stückofen. Nur bei einigen neueren Verfahren, welche jedoch keine erhebliche Wichtigkeit erlangt haben, sind andere Schmelzvorrichtungen, insbesondere Flammöfen, zur Anwendung gelangt.

Der Rennfeuer- wie der Stückofenbetrieb sind bereits seit vorgeschichtlicher Zeit in Anwendung und, wie schon erwähnt worden ist, bis heute noch nicht ganz erloschen. Ob man das Rennfeuer oder den Stückofen wählte, hing theils von der Beschaffenheit der Erze, theils von der Einrichtung der Gebläse, theils auch wohl von der Gewohnheit ab. Eine zum Schmelzen strengflüssiger Erze erforderliche hohe Temperatur und eine kräftige Reductionswirkung lässt sich leichter im Schachtofen als im Feuer erzeugen; daher wählte man den ersten vorzugsweise da, wo schwer reducirbare Erze mit strengflüssiger Gangart verhüttet werden sollten, während das Feuer häufiger bei der Verarbeitung reiner und reicher Erze, insbesondere reicher Rotheisenerze, Benutzung fand. Ein Feuer aber ist ohne Anwendung eines Gebläses kaum zur Eisenerzeugung tauglich; ein Schachtofen kann allenfalls auch ohne Gebläse betrieben werden, indem er selbst als Esse wirkt und den Luftwechsel veranlasst. Daher findet man Stücköfen auch bei solchen Völkern, denen Gebläse noch unbekannt sind.

Im Rennfeuer wie im Stückofen sind nur Holzkohlen als Brennstoff benutzbar. Aus mineralischen Kohlen würde das erfolgende Eisen so reichliche Mengen Schwefel aufnehmen, dass es unbenutzbar werden müsste; die Bildung einer kalkreichen Schlacke, welche beim Hochofenbetriebe als wirksames Gegenmittel dient, ist bei dieser Art des Betriebes unmöglich, da die Temperatur nicht hoch genug ist, die Schlacke zu schmelzen. Für den Grossbetrieb der Jetztzeit sind schon aus diesem Grunde jene Verfahren unanwendbar; nur für eine Eisendarstellung von beschränktem Umfange in holzreichen Gegenden können sie noch benutzt werden.

1) „Rennen" heisst zum Rinnen oder Fliessen bringen, also schmelzen. Rennfeuer ist daher ursprünglich gleichbedeutend mit Schmelzfeuer. Mitunter dehnt man den Begriff des Ausdruckes Rennen, Rennarbeiten noch weiter aus und versteht darunter die Erzeugung schmiedbaren Eisens aus Erzen überhaupt.

a) Der Rennfeuerbetrieb.

Wie die Feuer im Allgemeinen entstand das Rennfeuer aus einem Haufen Holzkohlen, dessen Gluth man durch ein Gebläse anfachte und welches man dann, um die Kohlen besser zusammenzuhalten, mit einer gemauerten Einfassung umgab (Seite 124). Zwischen den Kohlen wird das Erz niedergeschmolzen und dabei theilweise reducirt; unter Umständen findet noch ein zweites Niederschmelzen des beim ersten Male nicht genügend reducirten Erzes statt. Der erfolgende, mit Schlacke reichlich durchsetzte Eisenklumpen, welchen man die Luppe oder den Deul nennt, wird herausgenommen und mit Hämmern bearbeitet. Das sind die Grundzüge des Verfahrens, welches in einigen Gegenden sich bis heute erhalten hat. Auf Elba wurden schon im Alterthume Rennfeuer betrieben, deren Spuren theilweise noch erhalten sind[1]; in manchen Gegenden Deutschlands bildete während des Mittelalters und noch in den ersten Jahrhunderten der Neuzeit das Rennfeuer die ausschliesslich benutzte Vorrichtung zur Eisenerzeugung.[2]

Noch in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war die Rennfeuerarbeit in verschiedenen Theilen Deutschlands ziemlich verbreitet; in Oberschlesien erloschen die Rennfeuer erst beim Beginne des jetzigen Jahrhunderts. Dagegen finden sich noch heute Rennfeuer in einzelnen Theilen Spaniens, sowie in den Vereinigten Staaten Nordamerikas (in der Umgebung des Lake Champlain in den Staaten New York und New Jersey), wo man Magneteisenerze in ihnen verschmelzt. Man nennt das dort übliche Verfahren das catalonische, obgleich es dem Bau des Feuers wie der Ausführung zufolge mehr mit dem früher in Deutschland ausgebildeten Verfahren, welches u. a. in Karstens Handbuche der Eisenhüttenkunde, Bd. IV, ausführlich beschrieben ist, als mit dem in Catalonien üblichen oder üblich gewesenen übereinstimmt.

In den Abmessungen der Feuer und in den Einzelheiten des Schmelzverfahrens zeigte auch der frühere Rennfeuerbetrieb zahlreiche Abweichungen, die in älteren Werken über Eisenhüttenkunde gewöhnlich mit grosser Ausführlichkeit beschrieben sind. Einen allgemeinen Begriff der Anordnung eines Rennfeuers kann die Abbildung Fig. 235 geben, ein catalonisches Rennfeuer in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts darstellend.[3] Aus dem Feuer wird soeben die fertige Luppe mit Stangen herausgeholt; am Fusse des Feuers gewahrt man einen Schlackenstich, aus welchem während des Schmelzens von Zeit zu Zeit die entstandene Schlacke abgelassen wird. Der Wind wird durch eine an der Rückseite des Feuers angebrachte, in der Abbildung nicht sichtbare Form von oben her in schräger Richtung eingeführt.

Ueber den noch in Nordamerika bestehenden, allerdings mehr und mehr absterbenden, Rennfeuerbetrieb giebt Egleston einen ausführ-

1) Annales des mines, série 5, tome XIV (1859), p. 557; auch Beck, Geschichte des Eisens, Band I, Seite 476.

2) Ein Rennfeuer aus dem Anfange des 16. Jahrhunderts ist in Becks Geschichte des Eisens, Band II, Seite 147 abgebildet (aus Agricolas Werke De re metallica libri XII entnommen).

3) Aus Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung I, Seite 523.

lichen, durch Abbildungen ergänzten Bericht[1]), welchem nachstehende Mittheilungen entnommen sind.

Die dortigen Rennfeuer bestehen, wie die Rennfeuer überhaupt, aus gemauerten, vierseitigen, niedrigen Behältern, welche jedoch mit gusseisernen Platten ausgekleidet sind und sich hierdurch von den Rennfeuern früherer Jahrhunderte unterscheiden. Diese Auskleidung bildet unverkennbar eine Vervollkommnung. Tritt das noch unreducirte, schmelzende Erz mit dem kieselsäurereichen Ofenmauerwerk in Berührung, so löst es davon auf. Es entsteht eine verhältnissmässig eisenarme Schlacke, aus der das Eisen nur schwierig reducirt wird. Ein ungünstiges Ausbringen ist die Folge davon. Indem man das Feuer mit Eisenplatten auskleidet, verhindert man die Aufnahme von

Fig. 235.



Kieselsäure und die Erze werden besser ausgenutzt. Im Ganzen sind für jedes Feuer fünf Platten erforderlich, eine für den Boden und vier für die Umfassung. Die Seitenplatten stehen senkrecht, die vordere und hintere Platte haben häufig eine schwache Neigung nach aussen. Der Boden ist hohl und mit Wasser gekühlt. Ueber die eine Seitenplatte ragt die stark geneigte, ebenfalls wassergekühlte Form in das Feuer. Die Länge der Feuer pflegt etwa 0,6 m, die Breite 0,7 m, die Tiefe 0,3 m zu sein. Durch einen gemauerten Mantel, welcher nach oben sich zu einer Esse verengt und nur an der Arbeitsseite eine Oeffnung frei lässt, ist das Feuer eingeschlossen, und in dem Mantel befindet sich ein gusseiserner Winderhitzer, welcher durch die abziehenden Gase des Feuers geheizt wird.

Die zur Verhüttung bestimmten Erze werden geröstet und zu Erbsengrösse gepocht.

1) Vergleiche Literatur.

Als Brennmaterial dient Holzkohle. Wenn das Feuer in Betrieb gesetzt werden soll, wird zunächst eine Lage Holzkohlenlösche auf den Boden gebracht, dann Holzkohle nachgeschüttet und entzündet, worauf das Gebläse angelassen und eine gewisse Menge Schlacke von dem vorausgegangenen Schmelzen in das Feuer gebracht wird. Sobald die Kohlen in Gluth gekommen sind, wird mit einer Schaufel Erz — etwa 10—15 kg — in gleichmässiger Vertheilung darauf geschüttet. Das Erz sickert durch die Kohlen hindurch, wird hierbei theilweise reducirt und sammelt sich am Boden. Inzwischen ist durch die Verbrennung die Oberfläche der Kohlen gesunken, frische Kohlen werden nachgeschüttet, dann kommt wieder eine Lage Erz u. s. f. Mit einer langen Brechstange untersucht der Arbeiter von Zeit zu Zeit den Boden, schweisst das reducirte Eisen zusammen, und an der Beschaffenheit der an der Stange beim Herausziehen haftenden Schlacke wie des Eisens erkennt er den Verlauf des Schmelzens. Auch die Beschaffenheit der Flamme muss ihm als Merkmal hierbei dienen. Eine weisse statt blauer oder röthlicher Farbe deutet auf allzu hohe Temperatur, bei welcher leicht stahlartiges Eisen erfolgt. Er muss dann durch Aufspritzen von Wasser die Temperatur mässigen.

Von Zeit zu Zeit wird die Schlacke abgelassen. Je härter, kohlenstoffreicher das Eisen werden soll, desto öfter muss dieses geschehen; je weicher, desto mehr Schlacke lässt man mit dem Eisen in Berührung.

Man schmelzt mit einem Male etwa 250 kg Erz und gewinnt daraus eine Luppe von ungefähr 150 kg Gewicht, wobei der Aufwand an Holzkohlen dem Gewichte nach etwa doppelt so viel zu betragen pflegt als das Gewicht des erfolgenden Eisens. Die Zeitdauer des Verfahrens ist ungefähr drei Stunden.

Die erhaltene Luppe wird unter einem schweren Hammer gezängt, d. h. von Schlacke befreit, und zu einem flachen Kuchen oder einem prismatischen Blocke ausgeschmiedet, welcher nun durch Schweissen weiter verarbeitet wird.

Von diesem amerikanischen Verfahren unterscheidet sich der eigentliche catalonische Rennfeuerbetrieb vornehmlich dadurch, dass hier nicht, wie bei jenem, das Erz lagenweise mit den Holzkohlen in das Feuer gebracht wird, um allmählich niedergeschmolzen zu werden, sondern die ganze Menge des für die Verarbeitung in einem Male bestimmten Erzes — ungefähr 500 kg — auf die der Form gegenüberliegende Seite des Feuers auf einem Bette von Kohlen zu liegen kommt. Die grössere Hälfte des Feuers an der Formseite ist dagegen vollständig mit Kohlen erfüllt, die bis zur Höhe der Oberkante des Erzhaufens aufgeschüttet werden. Die stark geneigte Form bläst zunächst in diese Kohlen, und man leitet das Schmelzen so, dass das sich entwickelnde kohlenoxydreiche Gasgemenge durch den Erzhaufen hindurch seinen Weg nehmen muss, hierbei die Erze theilweise reducirend. Die solcherart vorbereiteten Erze sinken nun abwärts, fangen an zu sintern, gelangen durch die glühenden Kohlen hindurch auf den Boden, wobei eine fernere Reduction und theilweise Kohlung stattfindet, und aus dem reducirten Eisen bildet sich schliesslich auf dem Boden die Luppe, welche, wenn alles Erz geschmolzen ist, her-

ausgeholt und wie gewöhnlich bearbeitet wird. Die Zeitdauer des ganzen Verfahrens ist ungefähr 6 Stunden. Der Holzkohlenverbrauch ist, soweit die vorliegenden Angaben reichen, bedeutend höher als bei dem amerikanischen Verfahren und beträgt das 3½ fache von dem Gewichte des erfolgenden Eisens.[1])

Aus den oben besprochenen Gründen sind die Schlacken des Verfahrens stets eisenreich. Ein Rennfeuerbetrieb mit eisenarmer Schlacke ist undenkbar. Entstand eine reichliche Schlackenmenge, waren also die Erze reich an Mangan oder sonstigen in die Schlacke gehenden Körpern, oder wurde ein Theil des Ofenfutters aufgelöst, so beziffert sich der Eisengehalt der Schlacke etwas niedriger als im andern Falle, obgleich der Eisenverlust noch beträchtlicher sein kann als bei Entstehung einer geringern Menge eisenreicherer Schlacke.

	I	II	III	IV	V
Eisenoxydul	41,77	39,87	48,57	49,74	49,67
Eisenoxyd	—	—	8,06	4,93	11,17
Manganoxydul	12,31	13,00	0,61	0,40	0,64
Thonerde	1,90	3,65	1,60	0,80	—
Kalk	8,54	7,20	5,54	5,37	6,16
Magnesia	1,32	2,35	2,29	2,22	2,29
Titansäure	—	—	1,36	6,26	4,46
Phosphorsäure	n. best.	n. best.	0,03	0,40	0,05
Kieselsäure	33,54	33,00	26,38	24,60	25,93
Schwefel	n. best.	n. best.	0,25	0,37	0,00
Metallisches Eisen[2]) . .	—	1,20	3,19	3,68	1,24
Kohle[2])	—	—	1,18	0,33	0,22.

I. Catalonische Rennfeuerschlacke nach Richard. Mittlere Zusammensetzung mehrerer bei der Herstellung einer Luppe nach einander genommener Schlackenproben (T. Richard, a. a. O. Seite 151; auch Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung I, Seite 542).

II. Catalonische Rennfeuerschlacke nach François (a. a. O. Seite 234).

III bis V. Nordamerikanische Rennfeuerschlacken nach Egleston.

In früherer Zeit fuhr man die Schlacken als werthlose Nebenerzeugnisse auf die Halde; in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts hat man nicht selten die alten Schlackenhalden wieder aufgegraben, um die Schlacken ihres Eisengehaltes halber im Hochofen zu verhütten.

b) Der Stückofenbetrieb.

Häufiger noch als das Rennfeuer war in früheren Jahrhunderten der Stückofen in Anwendung zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen, und ziemlich erheblich sind die Abweichungen in den Abmessungen und der innern Form der in verschiedenen Ländern benutzten Stücköfen.

Der im Stückofen erfolgende Eisenklumpen heisst das Stück,

1) Eine eingehende Beschreibung dieser, wie auch der sonstigen älteren Rennfeuerbetriebe enthalten die Werke: F. Richard, Études sur l'art d'extraire immédiatement le fer de ses minerais sans convertir le métal en fonte, Paris 1838; ferner J. François, Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées, particulièrement dans l'Ariège. Paris 1843. Auch Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde enthält in Abth. I, Seite 519 ff. sehr ausführliche Auszüge aus den genannten Werken.

2) Metallisches Eisen und Kohle als mechanisch eingemengte Körper.

wird aber nicht selten auch, wie beim Rennfeuer, Deul oder Luppe genannt.

Der Betrieb geschieht in der Weise, dass der Ofen bis zu entsprechender Höhe mit Kohlen gefüllt wird, welche entzündet werden; alsdann giebt man eine Erzgicht, alsdann wieder Kohlen und Erze in abwechselnden Lagen. Man gichtet noch auf, während bereits unten Schmelzung stattfindet, hört aber damit auf, wenn eine der Grösse des herzustellenden Stückes entsprechende Menge Erz eingeschüttet ist. Alsdann wird niedergeschmolzen, der unten befindliche Eisenklumpen herausgeholt, bei kleinen Oefen aus der Gicht des Ofens, bei grösseren aus einer unten angebrachten und während des Schmelzens mit einem Steine zugesetzten Oeffnung, und das Schmelzen kann auf's neue beginnen.[1]) Das Verhältniss des Brennstoffs zum Erze wird nach dem Kohlenstoffgehalte, den das Erzeugniss erhalten soll, geregelt; bei sehr reichlichem Brennstoffsatze kann Roheisen erfolgen.

Die Höhe der Stücköfen beträgt mitunter kaum 1 m und steigt bei den in der Fussanmerkung erwähnten finnländischen Oefen auf mehr als 6 m. Manche Stücköfen haben Cylinderform, andere erweitern sich nach unten, noch andere nach oben; häufig auch findet man die in Fig. 68 auf Seite 354 dargestellte Form, d. h. der Ofen besteht aus zwei mit den breiten Flächen auf einander stossenden Kegeln. Die erwähnten finnländischen Stücköfen haben z. B. diese Form; auch die noch im Anfange dieses Jahrhunderts betriebenen Stücköfen der österreichischen Alpen, welche bis 5 m hoch waren und dann allmählich, ohne dass die innere Form wesentliche Aenderungen erfuhr, in Hochöfen umgewandelt wurden, waren in dieser Weise eingerichtet.

Stark verbreitet war in früheren Jahrhunderten der Stückofenbetrieb auf der ganzen Erde. Altrömische Stücköfen werden noch jetzt bisweilen in eisenerzreichen Gegenden aufgegraben, wo die Römer festen Fuss gefasst hatten, z. B. vor einigen Jahren in der Pfalz[2]); eine Abbildung eines Stückofens aus dem 16. Jahrhundert enthält Agricolas schon genanntes Werk De re metallica.[3]) Noch heute bildet der Stückofenbetrieb bei den Naturvölkern das fast ausnahmslos angewendete Verfahren der Eisenerzeugung, obschon der Bau der Oefen und die Einzelheiten in der Ausführung des Verfahrens bei fast jedem Volke sich etwas anders gestaltet haben. Die Berichte und Abbildungen der Oefen, welche uns Reisende geliefert haben, sind nicht immer ganz zuverlässig, weil diese Reisenden die Vorrichtungen und den Betrieb mit dem Auge des Ethnographen, aber nicht mit dem eines Eisenhüttenmannes ansahen.[4]) Als Beispiel eines noch jetzt bestehen-

1) Bei neueren finnländischen Stücköfen hat man das vollständige Niederschmelzen, welches stets eine erneute Füllung des Ofens mit Holzkohlen nothwendig macht, dadurch zu beseitigen gesucht, dass der untere Theil des Ofens, der Herd, in welchem die Luppe aus den niedersickernden Massen allmählich sich bildet, zum Auswechseln eingerichtet wurde. Hat die Luppe die erforderliche Grösse erreicht, wird der von Rädern getragene Herd abgelöst, davongefahren und entleert, während ein in Bereitschaft gehaltener zweiter Herd an seine Stelle kommt. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 470.

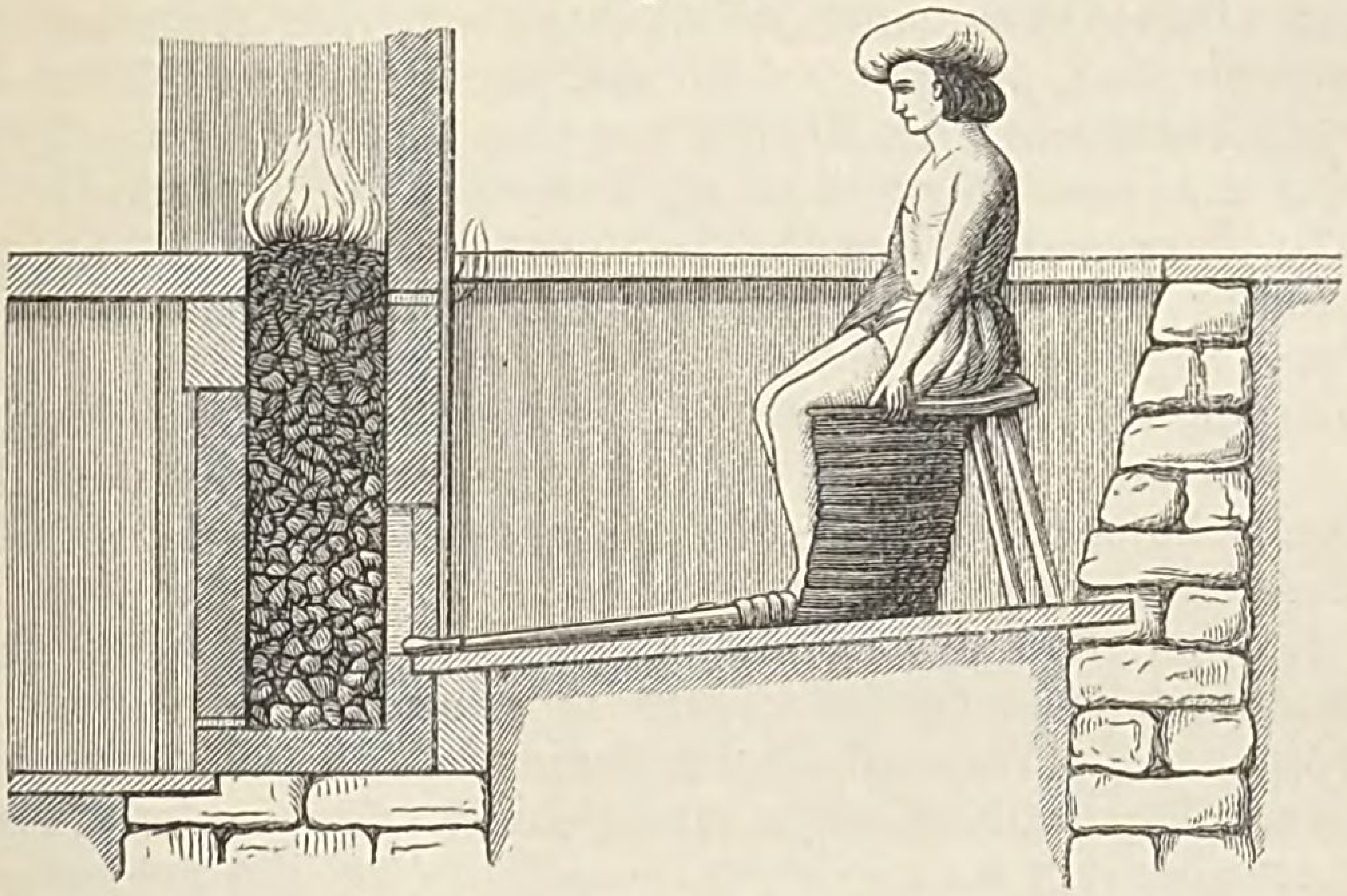
2) „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 634.

3) Daraus in Becks Geschichte des Eisens, Abtheilung II, Seite 157.

4) Richard Andree, Die Metalle bei den Naturvölkern, Leipzig 1884, enthält eine Zusammenstellung solcher Berichte mit guten Abbildungen.

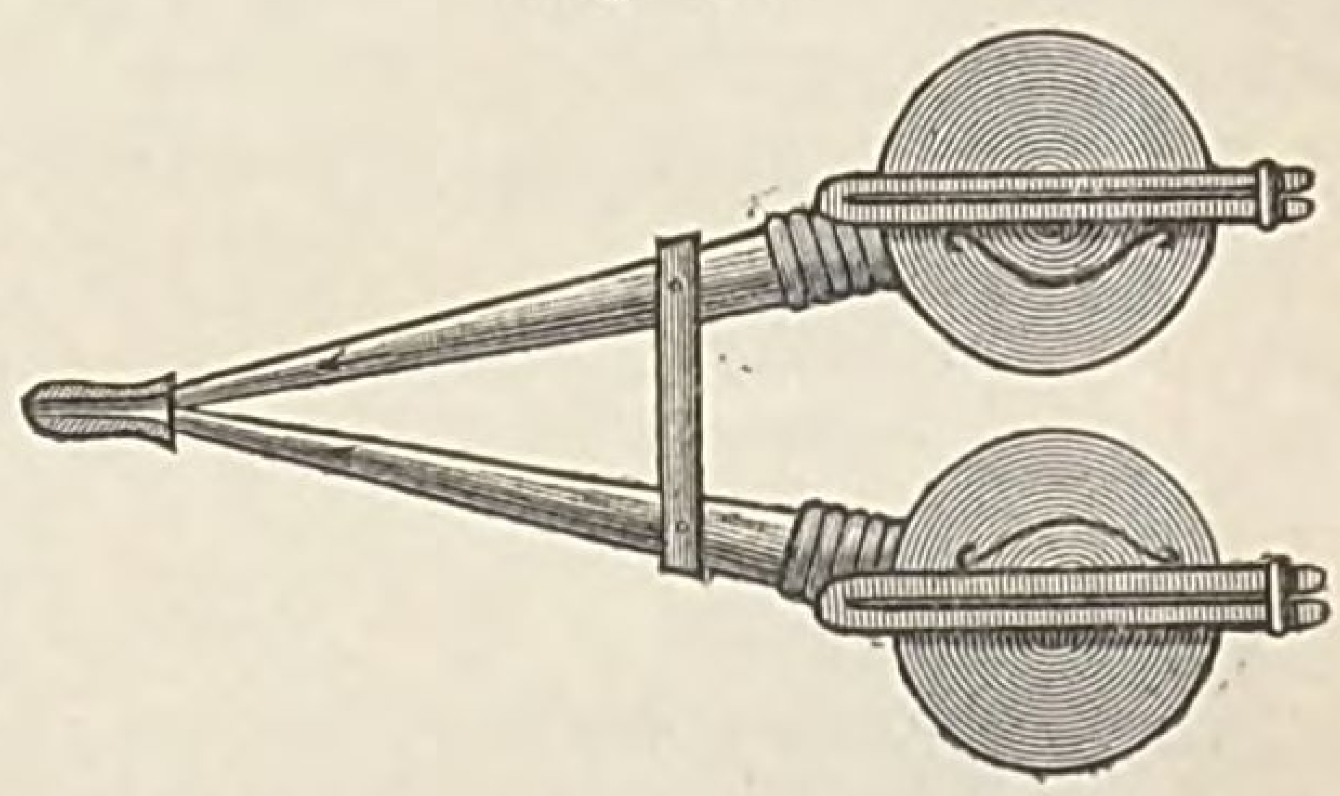
den Stückofenbetriebes bei Naturvölkern, dessen aus eigener Anschauung gewonnene Beschreibung wir einem österreichischen Eisenhüttenmanne, C. Ritter von Schwarz, verdanken[1]), möge die in Centralindien von den dortigen Eingeborenen betriebene Eisendarstellung hier Erwähnung finden. Der benutzte Ofen ist in Fig. 236 und 237 abgebildet. Er ist aus Lehm hergestellt und mit Mauerwerk eingefasst, 0,3 m im Quadrate weit, 1 m hoch. Die Windform, welche aus Lehm gebrannt ist, liegt 0,25 m über dem Boden und hat 23 mm Durchmesser. Das Gebläse besteht aus zwei Ziegenbälgen; ihre Schwanzenden sind

Fig. 236.



aufgeschnitten, und in die entstandenen Lappen sind je zwei Bambusstäbe eingenäht, welche am einen Ende fest, am andern lose mit einander verbunden sind, so dass sie federn und einen offenen Schlitz bilden, durch welchen Luft eintreten kann, wenn der Balg aufgezogen wird, während beim Zusammendrücken des Balges der Schlitz sich schliesst und die Luft gezwungen wird, durch die aus Bambusrohr gebildete Düse auszutreten, welche im Kopfende des Balges durch Schnüre befestigt ist. Das Aufziehen des Balges geschieht durch Lederriemen mit der Hand oder auch — in anderen Gegenden — mit Hülfe einer aus einem Bambusstabe gebildeten Feder, an welche der Riemen angeschlossen ist, das Zusammendrücken durch Treten mit dem Fusse. Das Aufziehen und Zusammendrücken der beiden Bälge geschieht immer abwechselnd.

Fig. 237.



An der Seite, wo der Arbeiter sich befindet, ist der Ofen mit einer

1) Zeitschr. d. Berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1879, Seite 1; auch Zeitschr. d. Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1892, Seite 189.

auf seine Umfassung gestellten Mauer versehen, welche den Arbeiter vor der Wärmestrahlung der Gichtflammen schützt; etwas unterhalb dieser Mauer ist in der Ofenwand eine kleine Oeffnung angebracht, aus welcher ein Flämmchen herausschlägt. Nach dem Aussehen des Flämmchens, ob lebhaft oder weniger lebhaft, ob blau oder gelb, beurtheilt der Arbeiter den Verlauf des Schmelzens. Man schmelzt jedesmal 20 kg Eisenstein (meistens Rotheisenstein) ohne Zuschlag mit etwa 20 kg Holzkohlen und gebraucht dazu einen Zeitraum von ungefähr 2 Stunden. Es erfolgt ein Eisenklumpen (Deul) von $7\frac{1}{2}$—9 kg Gewicht, welcher durch eine Zange aus der Gicht herausgeholt und dann mit Handhämmern bearbeitet und ausgeschmiedet wird. Zur Bedienung eines Ofens sind in 24 Stunden vier Arbeiter und ein Meister erforderlich, welche erstere sich am Gebläse ablösen, während letzterer das Ausbrechen des Eisenklumpens, die Herstellung der Formen, das Ausbessern des Ofens u. s. w. besorgt. In 24 Stunden werden zehn Deule dargestellt; der Holzkohlenverbrauch in 24 Stunden beträgt ungefähr 200 kg, also für 100 kg dargestelltes Eisen 250 kg Holzkohlen.

In Europa spielt jetzt noch der Stückofenbetrieb eine gewisse, wenn auch nur untergeordnete, Rolle in Finnland [1]); hier oder da dürfte in entlegener holzreicher Gegend auch anderwärts noch ein Stückofen anzutreffen sein.

Da die Schlacke der Stücköfen unter ganz den nämlichen Einflüssen entsteht wie die der Rennfeuer, muss auch die Zusammensetzung beider Schlacken im Wesentlichen übereinstimmen. Stets ist ihr Eisengehalt gross; in Hunderttheilen des Schlackengewichtes ausgedrückt erscheint er aber um so niedriger, je reichlicher die Schlackenmenge war, d. h. je mehr fremde, in die Schlacke übergehende Körper das Erz neben dem Eisen enthielt und je stärker der Ofen beim Schmelzen angegriffen wurde.

Beispiele.	I	II	III	IV
Eisenoxydul	48,86	39,38	51,7	55,54
Eisenoxyd	10,18	0,44	—	—
Manganoxydul	9,81	7,08	2,9	5,25
Thonerde	2,96	9,40	4,3	19,63
Kalk	1,83	2,26	2,6	1,51
Magnesia	0,60	1,89	9,2	0,68
Phosphorsäure	2,18	0,25	n. best.	0,07
Kieselsäure	23,40	34,93	29,1	19,40

I. Vorgeschichtliche Schlacke aus der Provinz Hannover, von Haberland untersucht (Beck, Geschichte des Eisens, I, Seite 639).

II. Schlacke aus altrömischen, in der Pfalz aufgegrabenen Stücköfen, von mir untersucht („Stahl und Eisen" 1884, Seite 633).

III. Schlacke aus einem Stückofen der österreichischen Alpen im Anfange des 19. Jahrhunderts, nach Karsten (Handbuch der Eisenhüttenkunde, 3. Auflage, Berlin 1841, Bd. IV).

IV. Schlacke, welche nebst Resten alter Stücköfen in der Gegend von Osnabrück gefunden wurde. In meinem Laboratorium untersucht.

1) Im Jahre 1890 erzeugte das Eisenwerk Pankakoski aus 2554 t Seeerzen unter Verbrauch von 5000 cbm Holzkohle 368,5 t Rohschienen (geschmiedete und gewalzte Stücke), das Eisenwerk Kiminki verarbeitete 420 t Seeerze mit 989 cbm Holzkohlen („Stahl und Eisen" 1893, Seite 216).

c) Einige neuere Verfahren.

Unter den zahlreichen Verfahren, welche vorgeschlagen und versuchsweise eingeführt worden sind, können hier nur solche Erwähnung finden, welche wenigstens für einige Zeit eine gewisse Bedeutung besessen haben.

Darstellung von Schweisseisen aus Erzen im Flammofen.

Das Verfahren wurde durch W. Siemens im Anfange der siebziger Jahre erfunden und auf der Eisenhütte zu Towcester in Northampton ausgebildet.

Eisenerze, mit Zuschlägen in solchen Gewichtsverhältnissen beschickt, dass eine ausreichend flüssige Schlacke sich bilden kann, wurden im zerkleinten Zustande mit gepulverter Kohle gemischt und in einem Flammofen bis zur Schweisstemperatur des Eisens erhitzt. Durch die Einwirkung der Kohle wurde das Eisen reducirt, um dann eine Luppe zu bilden, die herausgeholt und weiter verarbeitet wurde.

Man benutzte zur Ausführung des Verfahrens den auf Seite 154 (Fig. 43 und 44) abgebildeten und beschriebenen Drehofen, welcher mit eisenreichen Schlacken ausgekleidet wurde.

Als Reductionskohle diente Steinkohle; am geeignetsten erwies sich eine fette, gasreiche Kohle, welche leicht oxydirbar ist und deshalb kräftig reducirend wirkt. Die Menge des Steinkohlenzusatzes pflegte ein Sechstel bis ein Viertel des Erz- und Zuschlagsgewichtes zu betragen.

Die Erze wurden auf Erbsen- bis Bohnengrösse, die Kohlen auf Weizenkorngrösse oder noch feiner zerkleint und das Ganze gemischt. Das Gesammtgewicht des Einsatzes betrug bei den grösseren Oefen etwa $2\frac{1}{2}$ t.

Nachdem die Mischung durch die Einsatzthür in den schon erhitzten Ofen gebracht worden war, wurde diese geschlossen, und Gas und Luft wurden zugelassen. Der Ofen wurde mit 12 bis 15 Umgängen in der Stunde gedreht. Gegen Ende des Schmelzens steigerte man die Temperatur bis zur beginnenden Weissgluth, und mit Hülfe einer eingeschobenen eisernen Krücke beförderte man das Zusammenschweissen der Eisenbrocken zu einzelnen Luppen, welche schliesslich herausgeholt und unter dem Hammer gezängt wurden.

Die Zeitdauer des Verfahrens betrug $4\frac{1}{2}$—6 Stunden.

Das Eisenausbringen pflegte 73 bis 77 Hunderttheile von dem in den Erzen enthaltenen Eisen zu betragen, so dass also 27 bis 23 Hunderttheile Eisen verschlackt wurden.

Der Steinkohlenverbrauch für die Tonne erzeugten Eisens betrug durchschnittlich

für die Gaserzeugung	1,6—1,7 t
„ „ Reduction	0,4—0,45 t

also zusammen ungefähr das Doppelte von dem Gewichte des erzeugten Eisens oder noch etwas mehr.

Die erfolgenden Schlacken enthielten nach einer von Tunner gegebenen Mittheilung[1]):

	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MnO	CaO	CaS	P_2O_5
beim 1. Abstich .	46,95	—	16,50	28,10	0,49	0,29	2,32	5,22
„ 2. „ .	49,24	7,05	20,40	18,80	Sp.	—	0,91	3,46,

waren also ganz ähnlich wie die Schlacken der Rennfeuer und Stücköfen zusammengesetzt. Die Umstände, welche für ihre Zusammensetzung, insbesondere ihren Eisengehalt, den Ausschlag geben, fanden oben (Seite 780, 785) bereits Erörterung.

Das Eisen dagegen enthielt nur 0,07 Hunderttheile Phosphor, 0,03 Hunderttheile Schwefel, 0,12 Hunderttheile Kohlenstoff.

Das von Siemens in's Auge gefasste und mit Ausdauer ein Jahrzehnt hindurch verfolgte Ziel, mit Hülfe des Verfahrens aus phosphorhaltigen Erzen ein Schweisseisen darzustellen, welches seinen Eigenschaften zufolge dem aus phosphorarmem Roheisen erzeugten Schweisseisen gleichwerthig zur Seite treten könnte, ist nicht erreicht worden. Die Erfahrung lehrte, dass die entstehenden Luppen reichlich von einer theilweise strengflüssigen (trockenen) Schlacke durchsetzt waren, welche das Eisen verschlechterte. Eine umfängliche Bearbeitung der Luppen erwies sich als nothwendig, und die Erzeugungskosten des fertigen Eisens waren hoch. An mehreren Orten, wo das Verfahren versuchsweise eingeführt wurde (1873 zu Prävali in Kärnten, 1878 zu Pittsburg), und selbst in Towcester ist der Betrieb schliesslich eingestellt worden.

Auch der später gemachte Versuch, die gewonnenen phosphorarmen Luppen durch Schmelzen im Martinofen (siehe Darstellung des Flusseisens) von der Schlacke zu reinigen und in Flusseisen umzuwandeln, verlor jede Bedeutung, nachdem man gelernt hatte, auch phosphorreichem Eisen im Martinofen seinen Phosphorgehalt zu entziehen.

Darstellung von Eisenschwamm durch reducirendes Glühen der Erze.

Der Erste, welcher das schon auf Seite 780 in seinen Hauptzügen gekennzeichnete Verfahren mit einigem Erfolg anwendete, war der Franzose Chenot im Jahre 1855. Er benutzte senkrechte gemauerte Retorten, 8,5 m hoch, 2 m lang, 0,5 m breit, welche, ähnlich wie die Retorten der Appolt'schen Verkokungsöfen (Seite 78), in einem Rauhgemäuer eingebaut waren, durch herumlaufende Feuerzüge von aussen erhitzt und nach unten entleert wurden. Das herausstürzende reducirte Eisen fiel zunächst in einen Abkühlungsraum, in welchem es vor der Berührung mit der Luft und somit vor Oxydation geschützt war.

Das Erz wurde zu Stücken von etwa 30 ccm zerkleint und mit so viel Holzkohle gemischt, als eben zur Reduction erforderlich war (bei 55 Hunderttheilen Eisengehalt des Erzes mischte man mit 1000 Gewichtstheilen Erzen ungefähr 200 Gewichtstheile Holzkohle). Die Reductionszeit betrug 2—3 Tage, der Fassungsraum einer Retorte 4500 kg, so dass also die durchschnittliche tägliche Durchsatzmenge einer Retorte sich auf etwa 1500—2000 kg Erz bezifferte. Der Brennstoffverbrauch zum Heizen der Retorten betrug durchschnittlich 630 kg Stein-

1) Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten, Seite 71.

kohlen für 1000 kg erzeugten Eisens, der Verbrauch an Reductionskohle (Kohlenlösche) 320 kg.

Auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1855 erhielt Chenot von der französischen Jury die goldene Preismünze; mehrere Werke in Spanien, Frankreich und Belgien richteten Anlagen für die Durchführung des Chenotverfahrens ein. Die Schwächen des Verfahrens sind bereits oben geschildert worden. Der erfolgende Eisenschwamm besass in der That kein grösseres specifisches Gewicht als etwa 1,25, und um nicht beim Erhitzen den grössten Theil des Eisens durch Oxydation zu verlieren, presste man das Erzeugniss in einer Wasserdruckpresse mit hohem Drucke zunächst stark zusammen. Dennoch blieb der Abgang beträchtlich, der Erfolg wenig befriedigend, und die meisten Anlagen stellten nach kurzer Zeit ihren Betrieb wieder ein. Auf der Pariser Weltausstellung von 1878 hatten indess noch zwei spanische Eisenwerke Proben des Chenotverfahrens ausgestellt.[1])

Auch ein von dem Amerikaner Blair ersonnenes Verfahren, bei welchem statt der Holzkohle Kohlenoxyd als Reductionsmittel dienen sollte, während die Einrichtungen denen des Chenotverfahrens ähnlich waren, hatte keinen bessern Erfolg. Es wurde mehrere Jahre auf einem Eisenwerke bei Pittsburg ausgeführt und kam dann wegen seiner ungünstigen Ergebnisse zum Erliegen.[2])

3. Der Frischfeuerbetrieb.

a) Einleitung.

Der Frischfeuerbetrieb, auch mitunter das Herdfrischen genannt, bildet das älteste Verfahren zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Roheisen.

Das Frischfeuer ist ein niedriger, vierseitiger Behälter, über dessen Rand hinweg eine schräg abwärts gerichtete Düse Wind zuführt. Die Einrichtung im Wesentlichen ist also die nämliche wie bei den oben besprochenen Rennfeuern zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen. Die auf Seite 783 gegebene Abbildung eines Rennfeuers kann auch zunächst einen Begriff von der allgemeinen Anordnung eines älteren Frischfeuers geben.

Aus dem Rennfeuerbetriebe entwickelte sich der Frischfeuerbetrieb, als man die Roheisendarstellung erfunden hatte und nun vor der Nothwendigkeit stand, das für die Giesserei nicht verbrauchte Roheisen, sowie die entstehenden Abfälle nützlich zu verwerthen. Man hielt das Roheisen für ein von Fremdkörpern ungenügend gereinigtes Erz und unterzog es demnach einem zweiten Schmelzen in den nämlichen Vorrichtungen, welche man bis dahin zur Darstellung schmiedbaren

1) Ausführliche Mittheilungen über das Chenotverfahren enthält die Abhandlung: Ed. Grateau, Mémoire sur la fabrication de l'acier fondu par le procédé Chenot. Revue universelle, tome VI, p. 1; Betriebsnachrichten aus dem Jahre 1879 von dem Werke d'El Desierto: M. Baills, Traitement de la Vena dulce dans les fours à reduction Chenot. Annales des mines, série 7, tome XV, p. 229.

2) Näheres über Einrichtung und Betrieb des Blairofens: Journal of the Iron and Steel Institute 1878, p. 47.

Eisens benutzt hatte. Besser als der Stückofen bewährte sich das Feuer in diesem Falle; so wurde die Anwendung des letzteren zum Frischen des Roheisens allgemein.

Dass die nämliche Vorrichtung und im Wesentlichen auch das nämliche Arbeitsverfahren in dem einen Falle zum reducirenden Schmelzen von Erzen, in dem andern Falle zum oxydirenden Schmelzen von Roheisen benutzt werden konnte, erscheint nicht auffällig, wenn man die Thatsache im Auge behält, dass die reducirende Wirkung des Schmelzens im Feuer nur beschränkt ist, wie aus der stattfindenden reichlichen Verschlackung von Eisen erwiesen ist. Während aus Erzen ein Theil ihres Eisengehaltes bei der unmittelbaren Berührung mit glühenden Holzkohlen reducirt wird, bewirkt die Berührung des schmelzenden Roheisens mit dem Windstrome eine Ausscheidung seiner leichtverbrennlichen Bestandtheile, des Siliciums, Mangans, Kohlenstoffs. Dass durch Zusatz von Erzen oder eisenreichen Schlacken, welche als Oxydationsmittel wirken, das Frischen des Roheisens wesentlich erleichtert werde, hat man jedenfalls sehr bald herausgefunden.

Als Brennstoff beim Frischfeuerbetriebe dienen Holzkohlen. Koks würden ihres Schwefelgehaltes halber ebensowenig wie beim Rennfeuer- und Stückofenbetriebe anwendbar sein. Die Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen erfolgt, indem man ersteres tropfenweise vor dem Windstrahle niederschmelzt und dieses Verfahren so oft wiederholt, bis die fremden Bestandtheile des Roheisens, insbesondere Silicium, Mangan und Kohlenstoff, bis zu dem erforderlichen Maasse ausgeschieden sind. Von der Zusammensetzung des verwendeten Roheisens wie von der gewünschten Beschaffenheit des darzustellenden schmiebaren Eisens hängt es ab, wie oft dieses Niederschmelzen stattfinden muss. In einzelnen Fällen genügt schon ein einmaliges Schmelzen, häufiger ist ein zweimaliges, mitunter ein dreimaliges oder noch öfteres Schmelzen des ganzen Einsatzes oder der am wenigsten von der Oxydationswirkung betroffenen Theile erforderlich. Dass man durch Zusatz von Körpern, welche auf die fremden Bestandtheile des Roheisens oxydirend zu wirken vermögen, insbesondere von eisenoxydreichen Schlacken oder von Hammerschlag (Seite 254), die Ausscheidung jener Bestandtheile des Roheisens zu befördern pflege, wurde schon erwähnt.

Die geschilderten Eigenthümlichkeiten des Frischfeuerbetriebes, insbesondere die Nothwendigkeit, das zu verfrischende Roheisen nach und nach und zu wiederholten Malen einzuschmelzen, sowie der Umstand, dass die Abmessungen eines Feuers überhaupt nicht sehr beträchtlich sein können, machen es erklärlich, dass die Leistung eines einzigen Frischfeuers beschränkt bleibt. Die Nothwendigkeit, Holzkohlen zu benutzen, knüpft das Verfahren an das ausreichende Vorkommen dieses Brennstoffs und vertheuert das Erzeugniss in allen den Gegenden, wo Holzkohlen schwierig zu erlangen sind; sie macht sogar eine Ausbreitung des Verfahrens über jene Grenzen hinaus unmöglich, welche durch den jährlichen Zuwachs an Holz und die damit zusammenhängende jährliche Erzeugung von Holzkohlen gesteckt sind. Alle Holzkohlen der Erde zusammen würden nicht ausreichen, wenn der Bedarf der Jetztzeit an schmiedbarem Eisen durch den Frischfeuerbetrieb gedeckt werden sollte.

Aus diesen Gründen verlor der Frischfeuerbetrieb, welcher noch in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts das wichtigste Verfahren zur Darstellung schmiedbaren Eisens bildete, mehr und mehr an Bedeutung, als der Bedarf an schmiedbarem Eisen durch die Einführung der Eisenbahnen so ausserordentlich stieg, während die Holzkohlen sich mehr und mehr vertheuerten. In grossen Bezirken, wo noch vor fünfzig oder sechzig Jahren die Frischerei im Feuer in ausgedehnter Weise betrieben wurde, sind die Frischfeuer seitdem vollständig verschwunden.

Andererseits besitzt das Verfahren eine Eigenthümlichkeit, die es in gewisser Hinsicht vortheilhaft auszeichnet. Wie schon früher hervorgehoben wurde, fällt bei allen Verfahren der Schweisseisendarstellung der Gehalt des erfolgenden Eisens an eingemengter Schlacke um so geringer aus, und das Eisen selbst ist in seiner Beschaffenheit um so gleichartiger, je weniger Eisen mit einem Male dargestellt wird, und je dünnflüssiger die dabei erfolgende Schlacke ist. Im Frischfeuer lassen sich, wie schon hervorgehoben wurde, seiner ganzen Einrichtung nach überhaupt nur kleine Mengen Eisen mit einem Male verarbeiten[1]; die Temperatur innerhalb des Feuers ist hoch; dieser Umstand, sowie das tropfenweise Schmelzen befördern die Abscheidung der Schlacke und die Entstehung eines Eisens von gleichmässiger Beschaffenheit.

Das Frischfeuereisen zeichnet sich aus diesem Grunde im Vergleiche zu anderen Sorten Schweisseisens, insbesondere zu dem durch das später zu besprechende Puddelverfahren dargestellten Eisen, durch Zähigkeit und Gleichmässigkeit aus. Dieser Umstand liefert die Erklärung dafür, dass der Frischfeuerbetrieb bis heutigen Tages — wenn auch nicht in grosser Ausdehnung — noch in manchen Gegenden aufrecht erhalten wird, wo im Uebrigen kaum Veranlassung dafür vorliegen würde. Für Darstellung feiner Bleche, Hufnageleisen und ähnlicher Eisensorten, an deren Verhalten und Gleichmässigkeit hohe Ansprüche gestellt werden, ist es besonders geschätzt. In neuester Zeit macht freilich weiches Flusseisen auch auf diesem Gebiete dem Frischfeuereisen einen zunehmenden Wettbewerb.

Diesem Vorzuge des Frischfeuerbetriebes steht der Nachtheil gegenüber, dass er weniger gut als das Puddelverfahren geeignet ist, Phosphor aus dem Roheisen zur Abscheidung zu bringen. Die stattfindende Berührung mit den glühenden Holzkohlen, die weniger ausgedehnte Berührung mit der Schlacke und die verhältnissmässig hohe Temperatur machen diesen Umstand erklärlich. Aus phosphorhaltigem Roheisen erfolgt leichter als bei dem Puddelverfahren kaltbrüchiges Eisen. Soll also der erwähnte Vortheil der Schlackenreinheit des Herdfrischeisens nicht durch den grösseren Nachtheil des Kaltbruches aufgehoben werden, sollen die Eigenschaften des Eisens auch mit seinen verhältnissmässig hohen Erzeugungskosten im Einklange stehen, so ist die Benutzung reiner, phosphorfreier Roheisensorten zum Verfrischen erforderlich.

Diese Verhältnisse bilden die Begründung dafür, dass der Frischfeuerbetrieb trotz seiner beschränkten Leistungsfähigkeit auch in der

1) Man verarbeitet selten mehr als 150 kg, häufig weniger.

Jetztzeit noch eine nicht unwichtige Rolle in solchen Ländern zu spielen vermag, wo phosphorfreie Erze das Material der Roheisendarstellung bilden, mineralische Brennstoffe selten und kostspielig, Holzkohlen dagegen in reichlichen oder doch ausreichenden Mengen zu beschaffen sind. Hierher gehört Schweden, dessen Frischfeuereisen sich Weltruf erwarb; auch die österreichischen Alpenländer halten den Frischfeuerbetrieb, wenn auch gegen früher im beschränkten Maasse, aufrecht und erzeugen neben feinerem Schmiedeeisen einen auch im Auslande geschätzten Stahl; verschiedene waldreiche Gegenden Russlands gehören hierher; u. a. m. Auch in Nordamerika werden neben den besprochenen Rennfeuern hier und da Frischfeuer betrieben; fast gänzlich erloschen ist der Frischfeuerbetrieb in Deutschland.

b) Das Frischfeuer.

In verschiedenen Ländern hat die Einrichtung des Frischfeuers etwas abweichende Gestaltung angenommen. Am häufigsten sind jetzt noch solche Feuer in Anwendung, welche man nach ihrer ursprünglichen Heimath als Lancashirefeuer bezeichnet. Ein derartiges Feuer, welches auf einem schwedischen Eisenwerke im Jahre 1885 in Benutzung war, ist in Fig. 238 und 239 abgebildet[1]) und möge als Beispiel der Einrichtung überhaupt dienen. *a* ist das eigentliche Feuer, von gusseisernen Platten eingefasst, welche, wie bei neueren Rennfeuern, die Aufgabe haben, das Mauerwerk zu schützen und vornehmlich die Entstehung einer eisenoxydreichen Schlacke zu befördern, indem sie die Aufnahme von Kieselsäure aus dem Mauerwerk unmöglich machen. Wichtiger noch als beim Rennfeuerbetriebe ist dieser Umstand. Die aufrecht stehenden Platten heissen Zacken, die untere, liegende Platte der Boden. Bei dem abgebildeten Feuer stehen die Zacken vollständig senkrecht; mitunter giebt man dem einen oder andern Zacken auch wohl etwas geneigte Stellung. Um den Boden, wenn er zu stark erhitzt werden sollte, kühlen zu können, ist darunter ein Wasserbehälter angebracht, welcher von aussen mit Wasser gefüllt werden kann, wie Fig. 239 erkennen lässt. In dem vordern Zacken ist eine Oeffnung zum Ablassen der Schlacke angebracht.

Der Wind tritt über den Rand des Feuers bei *ff* durch zwei unter einem Winkel von etwa 10 Grad abwärts gerichtete Düsen in's Feuer. Die Düsen selbst sind nicht gezeichnet, man sieht aber die Windleitung, an welche sie anschliessen. Sie liegen in wassergekühlten Formen. Bei älteren Feuern ist gewöhnlich nur eine einzige Düse vorhanden; durch Anordnung zweier Düsen wird die Gleichmässigkeit der Verbrennung befördert; bei einzelnen schwedischen Feuern hat man sogar eine dritte Form, welche an der Rückseite des Feuers sich befindet, angebracht.[2])

In manchen Gegenden liegt das Feuer, wie das auf Seite 783 abgebildete Rennfeuer, frei und ein in entsprechender Höhe darüber angebrachter Rauchfang dient zum Ableiten der Gase; das abgebildete Frischfeuer dagegen ist, um die abziehende Wärme benutzen zu können,

1) Nach J. v. Ehrenwerth, Das Eisenhüttenwesen Schwedens. Leipzig 1885.
2) Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1885, Nr. 33.

Lancashire - Frischfeuer

⅟25 der wirklichen Grösse.

Fig. 238.

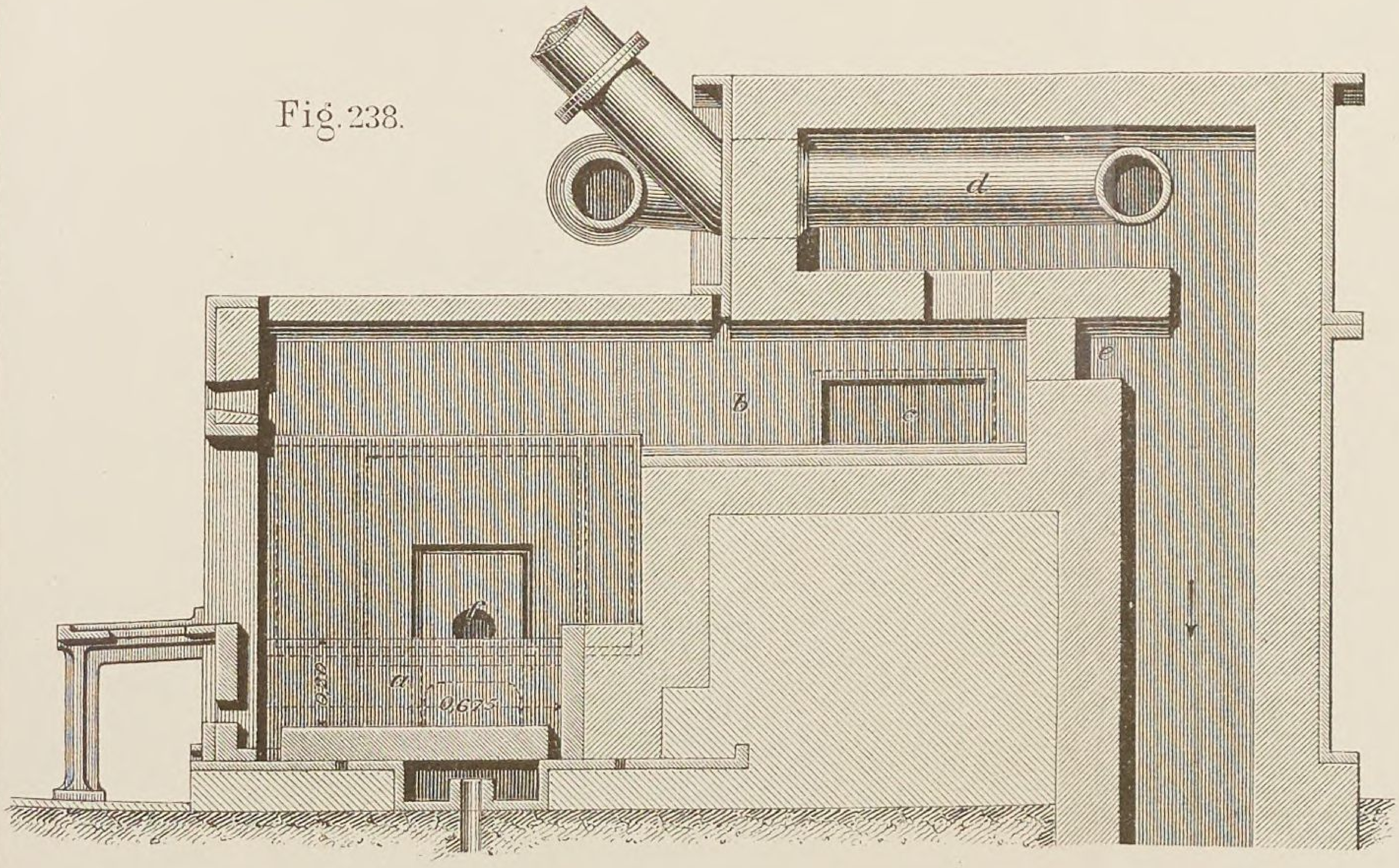
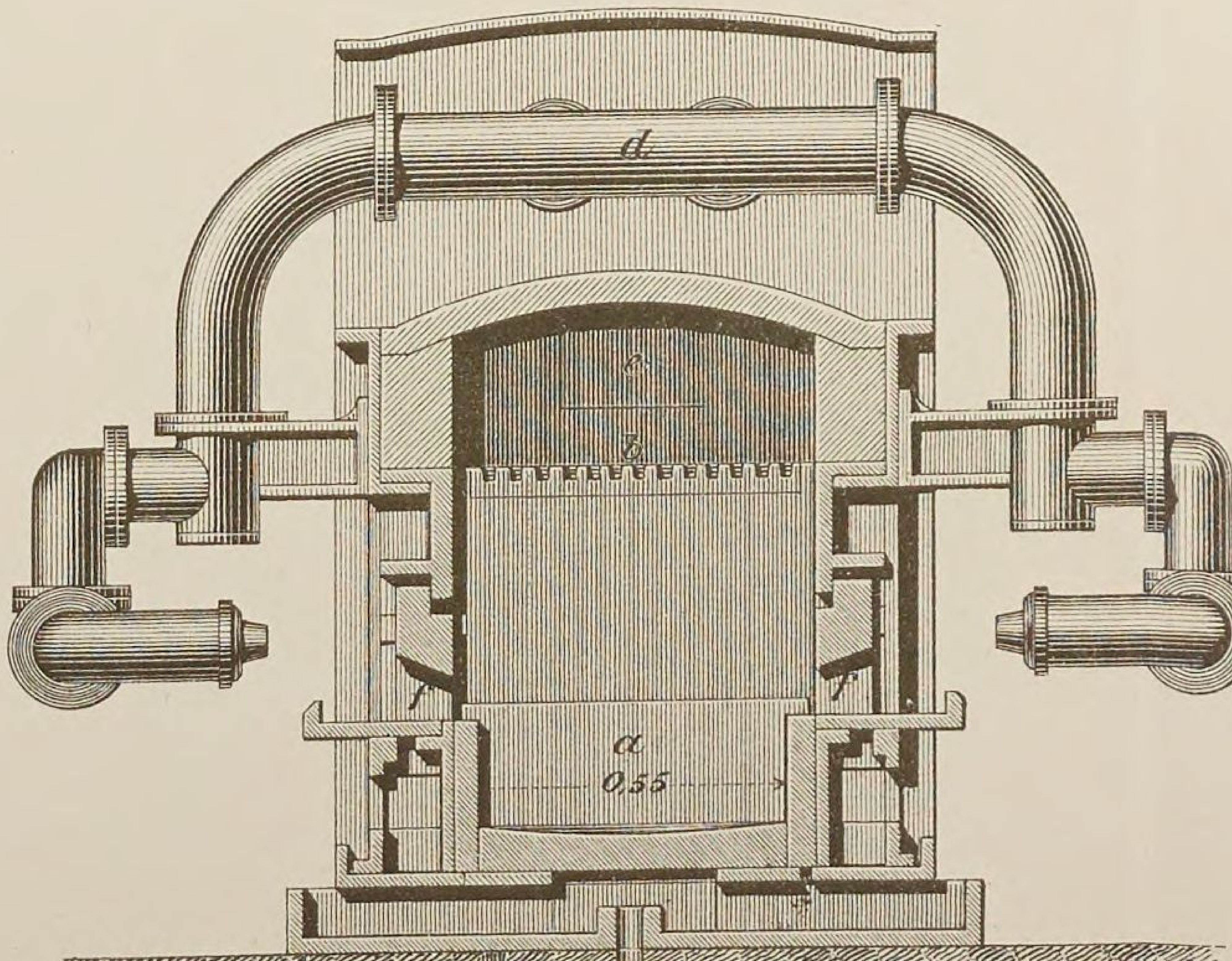


Fig. 239.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig. R.

eingeschlossen, und die entweichenden Gase werden zunächst über den Vorwärmherd *b* geleitet, auf welchem das für den nächsten Einsatz bestimmte Roheisen aufgeschichtet und bis zum Glühen erhitzt wird. Durch die mit einer Thür verschlossene Oeffnung *c* wird das Roheisen eingesetzt. *d* ist ein einfacher eiserner Winderhitzer, welcher die Möglichkeit gewährt, mit mässig (100 bis 150° C.) erwärmtem Winde zu blasen; will man dagegen mit kaltem Winde arbeiten, so schliesst man die nach dem Winderhitzer führende Oeffnung durch einen Schieber oder aufgelegten Ziegel und öffnet den Durchgang bei *e*, so dass die Gase unmittelbar nach der Esse abziehen. Bei zahlreichen Feuern fehlt übrigens die Windheizvorrichtung gänzlich, da die Erwartungen, welche man früher auf die Anwendung heissen Windes setzte, nur in beschränktem Maasse sich erfüllt haben.

Die Länge und Breite der Feuer pflegt zwischen 500 bis 700 mm, die Tiefe zwischen 160 bis 260 mm zu schwanken.

c) Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse.

Es ist leicht erklärlich, dass ein Verfahren, welches allmählich in Zeiten ausgebildet wurde, wo der Verkehr der Menschen unter einander weit beschränkter als jetzt war, eine Fachliteratur aber fast vollständig fehlte, auch in verschiedenen Gegenden ziemlich abweichende äussere Form annehmen konnte. Schon die verschiedene Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Roheisens macht gewisse Abweichungen in der Ausführung des Verfahrens nothwendig; nicht minder der Umstand, ob man beabsichtigt, weiches, d. h. kohlenstoffarmes, Eisen (Schmiedeeisen) oder Stahl darzustellen. Hierzu kommen nun aber die noch zahlreicheren Verschiedenheiten, welche durch den Bau des Feuers, die Grösse des Einsatzes und die Handhabungen bedingt sind und zum grossen Theile auf jahrelangen Gewohnheiten beruhen. Solcherart konnte T u n n e r in seinem, 1858 in zweiter Auflage erschienenen, Werke: „Die Stabeisen- und Stahlbereitung in Frischherden“ nicht weniger als 14 verschiedene Arten des Frischfeuerbetriebes für Schmiedeeisenerzeugung und ausserdem fünf verschiedene Arten des Frischfeuerbetriebes für Stahlerzeugung unterscheiden; auch hier waren nur die hauptsächlichsten Arten berücksichtigt worden.

Wesentliche Unterschiede zeigen sich, je nachdem man ein mangan- und siliciumarmes, entweder aus geeigneten Erzen unmittelbar erblasenes oder durch Feinen aus grauem Roheisen erhaltenes Roheisen verwendet, oder ein rohschmelziges (d. h. an oxydirbaren Körpern reiches) Roheisen (graues Roheisen, manganreiches Weisseisen) verarbeitet.

Im ersteren Falle ist es möglich, unter Anwendung eines reichlichen Schlackenzusatzes und Bildung eines förmlichen Schlackenbodens im Frischfeuer die Arbeit schon durch einmaliges Niederschmelzen zu vollenden. Das Verfahren heisst E i n m a l s c h m e l z e r e i oder S c h w a l - a r b e i t [1]), ist aber nur für Stahlerzeugung in Anwendung.

1) Schwal = Schlacke.

Am häufigsten ist in der Jetztzeit die Zweimalschmelzerei oder das Wallonfrischen in Benutzung, wobei ein weisses oder mässig halbirtes, jedenfalls nicht siliciumreiches Roheisen durch mindestens zweimaliges Niederschmelzen in schmiedbares Eisen umgewandelt wird.

Benutzt man dagegen graues, stark siliciumhaltiges Roheisen, so ist mindestens ein dreimaliges Niederschmelzen nothwendig. Die Arbeit heisst Dreimalschmelzerei oder deutsches Frischverfahren. So lange man das Roheisen der Giessereihochöfen und die Abfälle von der Giesserei als Material für die Frischfeuer benutzte, war dieses Verfahren am üblichsten: es wurde seltener, als man anfing, die Hochöfen auf Frischereiroheisen zu betreiben.

Bei der Dreimalschmelzerei werden die beim vorausgegangenen Schmelzen gewonnenen Schirbel (gezängte und in einzelne Stücke zertheilte Luppen), während das erste Niederschmelzen des Roheisens stattfindet, im Frischfeuer selbst wieder erwärmt, um dann ausgestreckt zu werden; bei dem Wallonfrischen sind wegen der kürzern Zeitdauer des Verfahrens besondere Feuer oder Oefen dafür nothwendig. Trotzdem hat das letztere Verfahren sich meistens als wirthschaftlich vortheilhafter erwiesen.

Diese in ihren Hauptzügen gekennzeichneten Verfahrungsweisen zerfallen nun eine jede wieder in besondere Arten, abweichend durch besondere Eigenthümlichkeiten der Arbeit selbst, den Bau des Feuers, die Grösse der Einsätze. Es kann jedoch nicht in dem Ziele dieses Buches liegen, eine Beschreibung aller der in früheren Jahrzehnten dieses Jahrhunderts üblichen Frischverfahren zu liefern, von denen manche inzwischen bereits vollständig verschwunden sind. Als Beispiel für die Durchführung des Herdfrischens im Einzelnen möge deshalb eine Beschreibung desjenigen Verfahrens folgen, welches in der Jetztzeit am meisten üblich und z. B. auch in den meisten Frischhütten Schwedens in Anwendung ist. Ursprünglich in England ausgebildet und Lancashire-Frischen genannt[1]), gehört es der Gruppe der Wallonfrischverfahren an.

Die Feuer der Lancashireschmieden sind sämmtlich, wie das in Fig. 238 und 239 abgebildete, mit Vorglühherd versehen. Winderhitzer dagegen sind, wie schon erwähnt wurde, vielfach wieder beseitigt worden, oder man begnügt sich, mit einer Temperatur von nicht über 100° C. zu blasen. Dass eine Ersparung an Brennstoff durch Anwendung heissen Windes beim Herdfrischen kaum zu erreichen sein wird, lässt sich aus den Einflüssen der Winderhitzung auf die Verbrennung schliessen. In der höheren Temperatur findet, da eine ausreichende Menge von Kohlen zugegen ist, reichlichere Kohlenoxydbildung statt (Seite 39), der Brennstoff wird minder günstig ausgenutzt, als bei Anwendung kalten Windes. In der kohlenoxydreicheren Gasatmosphäre aber geht die Verbrennung der Fremdkörper, insbesondere des Siliciums und Mangans, auch des Phosphors, langsamer von statten, und dieser Umstand lässt auch die mehrfach aufgestellte Behauptung gerechtfertigt erscheinen, dass in gewissen Fällen eine Verschlechterung der

1) Nach Percy ist die Bezeichnung Lancashire-Frischen insofern unrichtig, als das Verfahren nicht aus Lancashire, sondern aus Süd-Wales stammt und durch südwaleser Arbeiter nach Schweden verpflanzt wurde.

Eisenbeschaffenheit durch die Erhitzung des Windes herbeigeführt werde. Bei sehr gaarfrischendem [1]) Eisen dagegen kann die Anwendung erwärmten Windes durch Verzögerung des allzu raschen Gaarens vortheilhaft wirken.

Die schwedischen Lancashirefeuer sind stets, wie die oben gegebene Abbildung zeigt, mit zwei einander gegenüber liegenden Formen versehen, deren Düsen 24 mm im Durchmesser weit sind, während die Windpressung 94—100 mm Quecksilbersäule beträgt.

Man verwendet ein lichtgraues (stark halbirtes) oder weisses, also mässig gaarfrischendes Roheisen und verarbeitet Einsätze von 65 bis 140 kg, abweichend nach der Grösse des Feuers.

Auf den Boden des Feuers bringt man etwas Holzkohlenlösche, auf diese einige Schaufeln voll eisenoxydreicher Frischschlacke (Gaarschlacke) oder Hammerschlag, dann Holzkohlen. Das Roheisen pflegt in einzelnen Stücken von 25 — 50 mm Stärke, 150 — 500 mm Länge und Breite verarbeitet zu werden. Es wird während der Verarbeitung des vorausgehenden Einsatzes stark angewärmt, alsdann auf die eingeschütteten Kohlen gebracht und mit einer Lage Kohlen bedeckt, worauf das Gebläse angelassen wird. Hat in dieser Weise der Betrieb begonnen, so schüttet man wohl zu oberst auf die Kohlen nochmals Gaarschlacke oder Hammerschlag.

Während des nun beginnenden Schmelzens des Roheisens verhindert der Arbeiter durch Wuchten mit einer eisernen Brechstange, dass einzelne Roheisenstücke ungeschmolzen durch die Kohlen hindurchfallen und am Boden liegen bleiben. Je weniger gaarfrischend das Roheisen ist, desto mehr muss das Einschmelzen verzögert werden, damit die Oxydation vollständiger sei und nicht allzu dünnflüssiges Eisen auf den Boden gelange. Nach Beendigung des Schmelzens werden die aus Eisen und Schlacke bestehenden Ansätze, welche an den „Zacken“ sich gebildet haben, mit einer Stange losgebrochen und nochmals niedergeschmolzen, damit das Eisen von der Schlacke getrennt werde. Ist es erforderlich, so wird jetzt ein Theil der zu oberst befindlichen Schlacke abgelassen.

War das Niederschmelzen günstig verlaufen, so soll das Eisen sich jetzt in einem teigigen Zustande am Boden befinden. Ist dieses nicht der Fall, so wird Gaarschlacke (eine gegen Ende des Verfahrens entstehende eisenoxydreiche Schlacke) nachgetragen und fortgesetzt mit kaltem Winde geblasen.

Die Zeitdauer dieser ersten Periode ist etwa 30 Minuten.

Mit einer starken Brechstange wird nunmehr das am Boden befindliche Eisen in einzelne Brocken zertheilt, diese werden in der Mitte des Feuers angesammelt und schliesslich mit der Brechstange bis zur Oberkante des Feuers emporgehoben, um auf's neue vor dem Winde niedergeschmolzen zu werden. Befand sich noch flüssiges Eisen am Boden, so wird die Bodenplatte durch darunter geleitetes Wasser ge-

1) Gaargang des Feuers ist rascher Verlauf der Entkohlung, gaarfrischendes Roheisen solches, dessen Zusammensetzung eine rasche Entkohlung befördert, d. h. welches arm an Silicium und Mangan ist. Der Gegensatz des Gaarganges ist Rohgang.

kühlt, wodurch das Eisen zum Erstarren kommt und zum Aufbrechen tauglich wird.

Das jetzt niederschmelzende und zuerst am Boden anlangende Eisen wird, noch während das Einschmelzen des übrigen Eisens stattfindet, abermals aufgebrochen und wieder nach oben auf das noch ungeschmolzene Eisen gebracht, um ein drittes Mal niedergeschmolzen zu werden, und dieses Verfahren wird so lange wiederholt, bis das aufgebrochene Eisen eine zusammengeschweisste Masse bildet, aus der auch nach längerer Zeit kein flüssiges Eisen mehr aussaigert. Mit diesem Zeitpunkte ist die zweite Periode, das Aufbrechen, beendet, welche ebenfalls etwa 30 Minuten Zeit zu beanspruchen pflegt. Die Entkohlung des Eisens ist jetzt so weit fortgeschritten, dass es stahlartige Beschaffenheit besitzt. Dieses wiederholte Aufbrechen des Eisens in kleinen Mengen, welches eine umfangreiche Durcharbeitung ermöglicht, trägt zur Erlangung einer gleichmässigen Beschaffenheit bei und bildet einen wesentlichen Vortheil der Lancashiremethode. Es kommt hierbei in Betracht, dass gerade die am wenigsten gaaren Theile des Eisens am raschesten schmelzen und deshalb auch am häufigsten wieder aufgebrochen und auf's neue vor die Form gebracht werden.

Es folgt nun die dritte Periode, das Luppenmachen oder Gaarfrischen. Das Eisen wird jetzt, ohne durchgebrochen zu werden, in einem einzigen Klumpen emporgebracht und in hoher Temperatur, welche durch starke Windpressung und, wo es angeht, Erhitzung des Windes erzeugt wird, niedergeschmolzen. Für diese Arbeit sind 15 bis 30 Minuten erforderlich. Hat der Arbeiter sich mit der Brechstange überzeugt, dass alles Eisen richtig am Boden angekommen, flüssiges Eisen nirgends mehr vorhanden ist, die einzelnen, etwa zerstreut gewesenen Brocken gut zusammengeschweisst sind, so wird der Wind abgestellt, die Luppe ausgebrochen und der Herd für ein neues Frischen in Bereitschaft gesetzt.

Die erhaltene Luppe wird unter einem Hammer gezängt und dann in zwei oder mehr Stücke zertheilt, welche nunmehr den Schweissöfen überwiesen werden.

Das ganze Verfahren von Einsatz zu Einsatz beansprucht etwa 2 Stunden Zeit. Ein Feuer liefert wöchentlich, je nach der Grösse des Einsatzes 7—12 t; der Verbrauch an Holzkohlen für 1000 kg Luppeneisen beträgt 800—1000 kg, der Abbrand (Verringerung des Eisengewichtes) durchschnittlich 14 Hunderttheile vom Gewichte des verarbeiteten Roheisens. Für die Ausführung der verschiedenen Arbeiten sind in der Schicht zwei bis drei Arbeiter erforderlich.

Schwieriger als die Herstellung kohlenstoffarmen Schmiedeeisens ist die Herstellung von Stahl durch Herdfrischen. Während es bei der Schmiedeeisenerzeugung nur darauf ankommt, durch wiederholtes Aufbrechen nach und nach alle noch roheren Theile des Einsatzes der Oxydationswirkung auszusetzen, bis der Kohlenstoff bis auf kleine Mengen (etwa 0,1 Hunderttheile) verbrannt ist, muss bei der Stahlerzeugung nicht allein das Verfahren unterbrochen werden, sobald der Kohlenstoffgehalt sich auf das gewünschte Maass verringert hat, sondern man muss auch verhüten, dass einzelne Theile des Einsatzes

etwa zufällig stärker von der Oxydationswirkung als andere betroffen und dadurch kohlenstoffärmer als diese werden.

Aus diesem Grunde ist ein allzu gaarfrischendes Eisen zu vermeiden; der jedesmalige Einsatz darf nicht allzu beträchtlich sein (75—90 kg); das Verhältniss der zugesetzten Schlacke dagegen, welche eine Decke über dem am Boden sich sammelnden Eisen bilden soll, muss reichlich bemessen sein. Das Feuer hat, entsprechend dem geringeren Einsatze, geringe Länge und Breite (etwa 0,6 m lang, 0,55 m breit), dagegen ziemlich bedeutende Tiefe (etwa 0,3 m unterhalb der Form) ebenfalls zu dem Zwecke, allzu beschleunigten Gaargang zu vermeiden. Die Anwendung heissen Windes verzögert die Entkohlung und ist deshalb vortheilhafter als bei Schmiedeeisenerzeugung.

Am geeignetsten zum Verfrischen ist ein Weisseisen mit mässigem Mangangehalte, wie es aus Spatheisensteinen sich erblasen lässt, und schon früher wurde erwähnt, dass gerade in spatheisenerzreichen Bezirken von Alters her die Stahldarstellung geblüht habe, lange bevor man die eigentlichen Ursachen kannte, weshalb gerade das aus diesen Erzen erblasene Roheisen sich besonders gut für Stahlerzeugung eigne.

Der Mangangehalt dieses Eisens hat einen doppelten Zweck zu erfüllen. Erstens verzögert er die Entkohlung, macht das Eisen rohschmelziger; zweitens ertheilt er, sobald er in die Schlacke geht, dieser eine dünnflüssigere Beschaffenheit, die Schlacke trennt sich leichter vom Eisen, man bekommt, was für den Stahl doppelt wichtig ist, ein schlackenärmeres Enderzeugniss, und sie hält im Feuer das Eisen gleichmässiger bedeckt. Da aber die Schlacke zugleich basisch sein muss, um oxydirend wirken zu können, ist ein etwaiger Ersatz des Mangans durch Silicium, des Weisseisens durch Graueisen, nicht thunlich. Als dritter Umstand, welcher gerade die aus Spatheisenerzen erblasenen Roheisensorten als geeigne für Frischfeuerstahlerzeugung erscheinen lässt, kommt deren Reinheit von Phosphor hinzu; es wurde schon mehrfach betont, dass die Einwirkungen des Phosphorgehaltes auf die Eigenschaften des Eisens um so empfindlicher sich geltend machen, und dass aus diesem Grunde der Phosphorgehalt um so niedriger sein muss, je kohlenstoffreicher das betreffende Eisen (der Stahl) ist.

In vielen Gegenden, wo bis gegen die Mitte dieses Jahrhunderts die Stahldarstellung durch Herdfrischen noch in umfangreicher Weise betrieben wurde, sind die Feuer inzwischen erloschen; neuere, in ihrer Leistung gewaltigere, und mit mineralischen Brennstoffen ausführbare Verfahren sind an die Stelle des Frischfeuerbetriebes getreten (Siegerland); eine gewisse Bedeutung besitzt in der Jetztzeit die Frischfeuer-stahlerzeugung noch in Steiermark. Man bedient sich der steirischen Einmalschmelzerei, d. h. man schmelzt das Roheisen vor der Form nieder und lässt es dann durch die Einwirkung der Schlacke am Boden vollends gaaren. Während des Einschmelzens werden die Schirbeln des vorigen Deuls im Feuer selbst ausgeheizt, um unter dem Hammer gestreckt zu werden. Hinsichtlich der Ausführung des Verfahrens im Einzelnen möge auf Tunners oben erwähntes Werk über Stabeisen- und Stahlbereitung in Frischherden verwiesen werden.

Der Kohlenverbrauch bei der Stahlerzeugung ist, wie sich aus der

Verzögerung des Gaarens und der Benutzung des Feuers zum Ausheizen der Schirbeln erklärt, höher als bei der Schmiedeeisendarstellung im Lancashirefeuer und beträgt durchschnittlich 1600 kg Holzkohlen auf 1000 kg Stahl. Der Abbrand beträgt gewöhnlich 9—10 Hunderttheile vom Roheisengewichte, die Zeitdauer der Verarbeitung eines Einsatzes etwa 2 Stunden.

d) Der chemische Verlauf des Frischfeuerschmelzens.

Die Verbrennung des Kohlenstoffes, Siliciums, Mangans u. s. w. beim Frischen im Frischfeuer wird theils unmittelbar durch den Sauerstoff des Gebläsewindes, theils durch die entstehende oder absichtlich zugesetzte eisenoxyduloxydreiche Schlacke bewirkt. Der Umstand, dass unter dem Einflusse des Windes eine eisenreiche Schlacke entstehen kann, ehe jene genannten Körper oxydirt worden sind, und dass trotzdem nachher eben dieselbe Schlacke oxydirend auf die Körper einzuwirken vermag, erklärt sich, ebenso wie bei ähnlichen Oxydationsvorgängen, leicht aus der starken Verdünnung der in Rede stehenden Körper im Eisenbade. Die Berührung des freien Sauerstoffes mit dem Eisen ist weit ausgedehnter als mit den anderen Bestandtheilen des Roheisens; daher werden von ersterem zunächst auch grössere Mengen oxydirt, und zwar bei ausreichend grosser dargebotener Oberfläche nicht allein zu Oxydul, sondern theilweise auch zu Oxyd. Bleibt aber die Schlacke in längerer Berührung mit dem Roheisen, so tritt Ausgleich ein; vorhandenes Eisenoxyd wird zu Oxydul reducirt[1]), und der abgegebene Sauerstoff des Eisenoxydes bewirkt die Verbrennung der oben erwähnten Bestandtheile des Roheisens.

In der Temperatur, welche im Frischfeuer erreicht wird, sind Mangan und Silicium leichter oxydirbar als Kohlenstoff. Die Verbrennung des letzteren ist daher unbedeutend, so lange von ersteren noch grössere Mengen zugegen sind; erst nach ihrer Ausscheidung verläuft die Verbrennung des Kohlenstoffes rascher. Kleine Mengen Silicium und Mangan können immerhin in dem Eisen zurückbleiben, zumal wenn das Schmelzen rasch verläuft; die durch Analyse gefundenen Gewichtsmengen dieser Körper im Frischfeuereisen gehören allerdings häufig nicht sowohl dem Eisen selbst als vielmehr der eingemengten Schlacke an.

Phosphor kann überhaupt erst ausgeschieden werden, wenn eine eisenreiche Schlacke zugegen ist.

Je reicher das zu verfrischende Roheisen an auszuscheidenden Körpern, je grösser insbesondere sein Gehalt an Silicium und Mangan ist, desto langsamer ist der Verlauf des Frischens. Von diesem Gesichtspunkte aus nennt man, wie schon erwähnt wurde, graues oder manganreiches weisses Eisen, welches wegen seines Gehaltes an Silicium und Mangan einer verhältnissmässig langen Zeit zur Umwandlung in schmiedbares Eisen bedarf, r o h f r i s c h e n d, manganarmes Weisseisen, bei dem jene Umwandlung rasch eintritt, g a a r f r i s c h e n d; ein be-

1) Eine Reduction von Eisenoxydul zu metallischem Eisen kann höchstens ausnahmsweise und in sehr beschränktem Maasse stattfinden. Näheres auf Seite 264.

schleunigter Verlauf des Frischens heisst Gaargang, ein verzögerter Rohgang.

Ausser der Beschaffenheit des Roheisens können auch andere Umstände den Verlauf des Frischens beeinflussen.

Hohe Temperatur im Feuer verlangsamt das Frischen. Die Ursache dieser im ersten Augenblicke vielleicht auffälligen Thatsache ist in der durch hohe Temperatur veranlassten Vermehrung der Kohlenoxydbildung bei Verbrennung der Kohlen zu suchen. Die Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Sauerstoff wird gesteigert; die Holzkohlen verbrennen rascher, und zwar auf Kosten nicht allein des Sauerstoffs im Gebläsewinde, sondern auch des Sauerstoffs der Schlacken; letztere werden eisenärmer, und in der kohlenoxydreicheren Atmosphäre finden sie weniger Gelegenheit, sich auf's neue mit Eisen zu sättigen.

Starke Neigung und geringe Höhe der Form über dem Boden des Feuers befördern den Gaargang. Die Ursachen hierfür liegen nahe. Je schwächer die Kohlenschicht ist, welche der Wind zu durchdringen hat, ehe er zum Boden gelangt, desto mehr unverzehrter Sauerstoff kommt mit dem am Boden sich sammelnden Eisen nebst Schlacken in Berührung, desto stärker ist die hier stattfindende Oxydation.

Durch Gaargang des Feuers wird Zeit und Brennstoff gespart; schwieriger aber ist bei dem rascheren Verlaufe des Schmelzens die Erzielung eines gleichmässigen Enderzeugnisses, und grösser pflegt der Eisenabbrand zu sein. Daher ist ein allzu starker Gaargang keineswegs vortheilhaft, und durch entsprechende Auswahl der Roheisensorten wie durch entsprechende Leitung des Verfahrens sucht man ihn zu vermeiden. Besonders wichtig ist die Verlangsamung des Ganges bei Herstellung von Stahl; denn je kohlenstoffreicher das Enderzeugniss ausfallen soll, desto sorgfältiger muss selbstverständlich eine zu rasche und übermässige Entkohlung vermieden werden.

Nur spärlich sind die angestellten Untersuchungen über den chemischen Verlauf des Frischfeuerschmelzens, da das Verfahren bereits an Wichtigkeit verloren hatte, als man überhaupt anfing, durch chemische Untersuchungen den Verlauf der Verfahren der Eisendarstellung zu verfolgen, und nicht alle veröffentlichten Analysen sind hinsichtlich ihrer Richtigkeit über jeden Zweifel erhaben. Das meiste Vertrauen dürfte folgende von Botischew[1]) angestellte Ermittelung über die Zusammensetzung des Eisens in verschiedenen Abschnitten des Verfahrens auf dem Eisenwerke Nischneturinski verdienen. (Seite 802.)

Der Analyse zufolge war das verwendete Roheisen grau, mässig gaarfrischend. Die stattfindenden Veränderungen in der Zusammensetzung des Eisens entsprechen ziemlich genau dem soeben in allgemeinen Zügen geschilderten Verlaufe des Frischfeuerschmelzens.

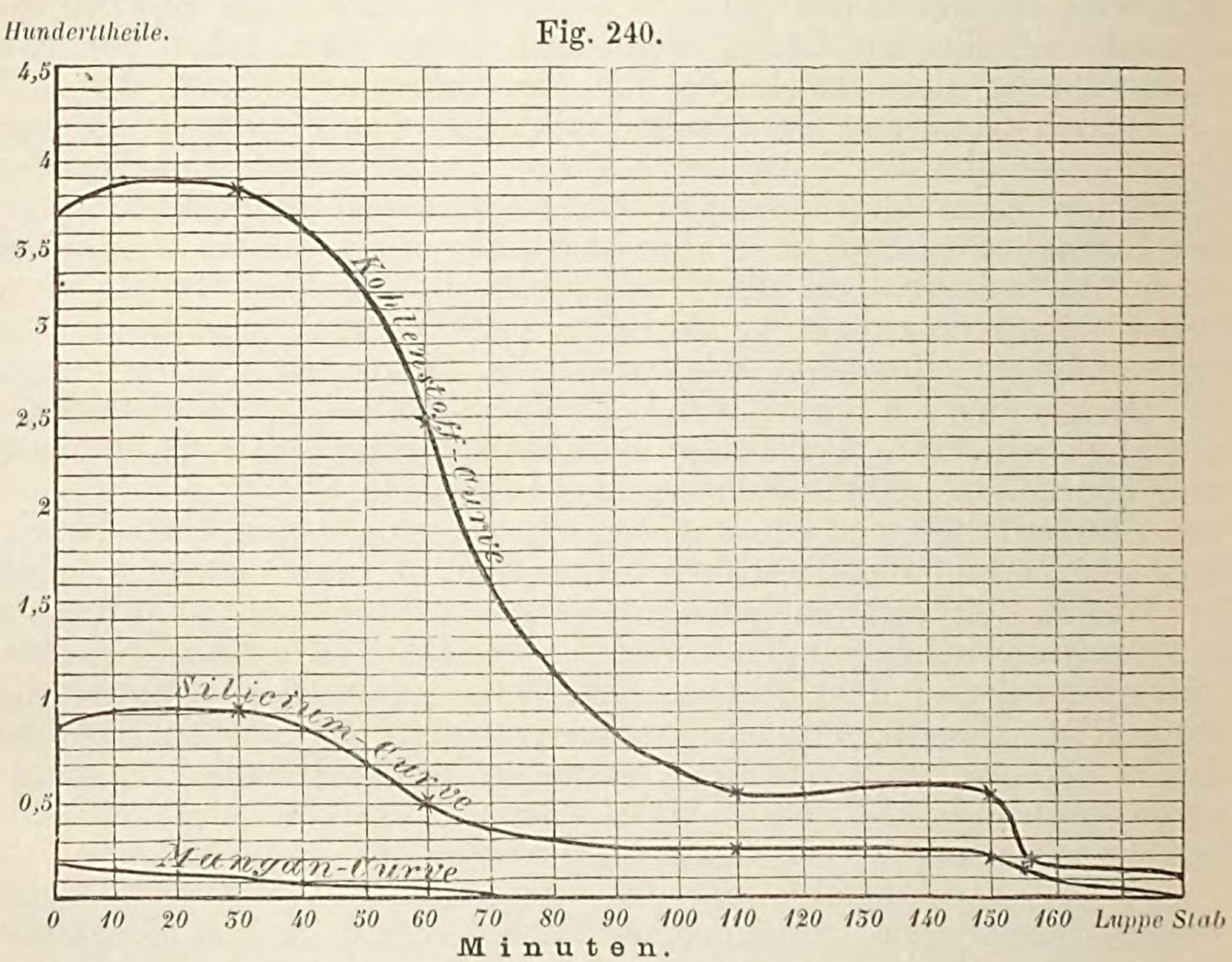
Zuerst verbrennt Eisen in grösseren Mengen, seine Menge vermindert sich. Es ist daher nicht auffällig, dass der Gehalt an Kohlenstoff in den ersten 30 Minuten des Schmelzens etwas zunimmt. Be-

1) Vergl. Literatur. Eine in der nämlichen Abhandlung enthaltene zweite Analysenreihe verdient Misstrauen, da bei dieser der gesammte Kohlenstoffgehalt des Roheisens mit 6,53 Hunderttheilen bei 0,17 Hunderttheilen Mangan angegeben ist. Einen solchen Kohlenstoffgehalt können nur manganreiche und siliciumarme Eisenmangane enthalten.

Es enthielten	Graphit	Gebundene Kohle	Gesammt-Kohlenstoff	Silicium	Mangan
das Roheisen	3,30	0,40	3,70	0,94	0,17
das Eisen nach 30 Minuten . .	2,56	1,25	3,81	1,10	0,09
„ „ „ 1 Stunde . . .	1,45	1,02	2,46	0,47	0,04
„ „ „ 1 „ 50 Min.	—	0,54	0,54	0,26	—
„ „ „ 2 Stdn. 30 „	—	0,58	0,58	0,20	—
„ „ „ 2 „ 35 „	—	0,20	0,20	0,16	—
die Luppe vor dem Zängen 2 Stunden 40 Minuten . .	—	0,17	0,17	0,06	—
die Luppe nach dem Zängen .	—	0,16	0,16	0,04	—
das geschweisste und ausgeschmiedete Eisen	—	0,11	0,14	0,03	—

denken erregt jedoch die gleichzeitige Anreicherung des Siliciumgehaltes. Sofern hier nicht ein Irrthum vorliegt, darf man schliessen, dass das

Fig. 240.



Schmelzen in kohlenoxydreicher Atmosphäre, also unter Anwendung heissen Windes und bei Gegenwart einer wenig basischen Schlacke vor sich ging. Alsdann aber vermindert sich der Siliciumgehalt rasch bis auf kleine Mengen, die zweifellos noch zum grossen Theile der eingemengten Schlacke angehören; ebenso verbrennt der Kohlenstoffgehalt, und der ohnehin nicht beträchtliche Mangangehalt ist schon in der ersten Stunde fast vollständig verschwunden.

Zu bedauern ist, dass die Ermittelungen nicht auch auf das Verhalten des Phosphors und Schwefels ausgedehnt wurden.

Stellt man den Verlauf des Schmelzens nach Maassgabe der mitgetheilten Analysen durch Curven dar, deren Ordinaten dem Gehalte der einzelnen Bestandtheile und deren Abscisse der Zeitdauer entsprechen, so erhält man das in Fig. 240 dargestellte Schaubild.

e) Die Erzeugnisse des Frischfeuerbetriebes.

Auf die Eigenschaften, durch welche das Frischfeuereisen vor anderen Sorten Schweisseisen ausgezeichnet ist, wurde schon früher hingewiesen: bei sorgfältiger Ausführung des Verfahrens ist es möglich, ein gleichmässigeres und schlackenreineres, deshalb bei fehlendem Phosphorgehalte zäheres, für Formveränderungen im kalten Zustande besser geeignetes Eisen als durch andere Verfahren der Schweisseisendarstellung zu erzeugen; aber Phosphor wird nur unvollständig abgeschieden, und zur Erlangung eines vorzüglichen Eisens ist deshalb die Anwendung möglichst phosphorfreier Roheisensorten erforderlich. Selbstverständlich ist es, dass bei nachlässiger Arbeit auch im Frischfeuer ein nicht minder ungleichartiges und schlackenhaltiges Eisen als durch andere Verfahren erfolgen wird, und die Anforderungen, welche an die Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit des Arbeiters gestellt werden, sind gerade beim Frischfeuerbetriebe höher als bei vielen anderen Verfahren. Das Eisen selbst ist fast während des ganzen Verlaufes durch die bedeckenden Kohlen dem Auge entzogen; nur aus äusseren Kennzeichen, dem Aussehen der Flamme, dem Funkenwerfen, und aus dem Gefühle beim Untersuchen des am Boden befindlichen Eisens mit der Brechstange vermag der Arbeiter seine Schlüsse zu ziehen.

Neben dem Eisen erfolgt Schlacke in mehr oder minder reichlicher Menge. Ausser dem Kohlenstoff gehen alle übrigen aus dem Roheisen ausscheidenden Bestandtheile im oxydirten Zustande in die Schlacke; nur Schwefel kann auch, ohne oxydirt zu werden, von der Schlacke aufgenommen werden.

Wie aus dem Verlaufe des Verfahrens sich ergiebt, ist jede dabei erfolgende Schlacke reich an Eisen. Theils ist es als Oxydul, theils als Oxyd zugegen, und der Eisenoxydgehalt pflegt mit dem gesammten Eisengehalte zuzunehmen; die Oxydationswirkung der Schlacke auf den Kohlenstoff des mit ihr in Berührung tretenden Eisens muss aber um so kräftiger sein, je sauerstoffreicher sie ist, d. h. je höher ihr Eisengehalt oxydirt ist. Dass das Eisenoxyd leichter zu Oxydul als dieses zu metallischem Eisen reducirt werde, wurde bereits mehrfach hervorgehoben.

Der Eisengehalt der Schlacke ist jedoch in den verschiedenen Abschnitten des Schmelzens und bei verschiedenen Roheisensorten verschieden. Verarbeitet man silicium- oder manganreiches Eisen, so scheiden sich diese beiden Körper zuerst ab; man bekommt eine um so eisenärmere Schlacke, je grösser der Gehalt an ihnen war. Lässt man nun diese zuerst gebildete Schlacke abfliessen, so reichert sich rasch der Eisengehalt der zurückbleibenden Schlacke an, und diejenige Schlacke, welche schliesslich beim Zängen der Luppen abfliesst, pflegt am eisenreichsten zu sein.

Eisenärmere Schlacken, welche im Anfange des Frischens ent-

stehen, nennt man Rohschlacken, eisenreichere, gegen Ende des Schmelzens entstanden, Gaarschlacken. Erstere sind dünnflüssig, zum Krystallisiren geneigt, schwarz oder, in dünnen Blättchen, braungrün gefärbt mit starkem Glanze; letztere fliessen träge, erstarren aber allmählicher als die Rohschlacken und krystallisiren deshalb weniger leicht, sind schwarz mit Metallglanz und besitzen ein bedeutendes spezifisches Gewicht.

Einige Beispiele der chemischen Zusammensetzung mögen hier folgen:

	Rohschlacken			Gaarschlacken		
	Von Rybnik nach Karsten	Nach Rammelsberg	Nach Rammelsberg	Harzer Schlacke. Nach Rammelsberg	Harzer Schlacke. Nach Rammelsberg	Luppenschlacke. Nach Botischew
SiO_2	28,0	30,50	31,47	17,60	14,18	3,10
FeO	61,2	48,33	44,34	67,71	65,06	Eisen
Fe_2O_3	2,25	4,57	7,72	6,14	14,93	71,62
MnO	6,70	7,21	9,13	5,09	4,78	0,41
MgO	2,40	4,20	3,58	0,86	—	—
CaO	0,90	4,82	4,02	0,89	1,28	0,23
Al_2O_3	0,20	—	—	0,47	1,23	0,73
P_2O_5	n. best.	n. best.	n. best.	2,32	0,62	n. best.
S	„	„	„	0,25	0,13	„

Durchschnittlich wird man den Kieselsäuregehalt der Rohschlaken zu 30 Hunderttheilen, der Gaarschlacken zu 12 Hunderttheilen annehmen können, während der Eisengehalt der ersteren etwa 47 Hunderttheile, der letzteren etwa 60 Hundertheile zu betragen pflegt.

In früherer Zeit stürzte man die Frischfeuerschlacken als werthlos auf die Halde oder benutzte sie allenfalls zur Wegebesserung; neuerdings gräbt man nicht selten auch die Schlackenhalden der Frischfeuer (wie die der Rennfeuer und Stücköfen) wieder auf und verhüttet die Schlacken beim Hochofen.

Dass ein Theil der Gaarschlacke beim Frischen selbst wieder zugesetzt zu werden pflegt, wurde bei der Beschreibung des Verfahrens erwähnt. Ohne diesen Zusatz müsste eine entsprechend grössere Menge Eisen oxydirt werden, um die Schlacke zu bilden. Der Abbrand würde höher ausfallen, das Verfahren verlangsamt werden.

4. Das Puddeln in feststehenden Oefen.

a) Einleitung.

Als im Laufe des vorigen Jahrhunderts der Bedarf an Eisen mehr und mehr zunahm, während die Wälder von Jahr zu Jahr stärker sich lichteten und die Holzkohlen in gleichem Verhältnisse theuerer und seltener wurden, drängten diese Umstände unaufhaltsam zu Versuchen, auch bei der Darstellung des schmiedbaren Eisens wie schon vorher beim Hochofenbetriebe mineralische Brennstoffe statt der bis dahin ausschliesslich verwendeten Holzkohlen zur Anwendung zu bringen.

In den älteren zur Darstellung schmiedbaren Eisens benutzten Oefen war, wie schon erläutert worden ist, eine Benutzung mineralischer, stets schwefelhaltiger Kohlen nicht möglich. Man musste einen Ofen anwenden, in welchem das zu verarbeitende Eisen nicht mit dem Brennstoffe selbst in Berührung kam, sondern nur durch die entwickelte Flamme erhitzt wurde, und man erlangte alsdann den andern Vortheil, dass man rohe unverkohlte Brennstoffe zur Verwendung bringen konnte. Auf den einzuschlagenden Weg wies die Einrichtung der schon seit Jahrhunderten benutzten Flammöfen zum Schmelzen anderer Metalle hin.

Durch diese Verhältnisse angeregt erfand der Engländer Henry Cort im Jahre 1784 das Flammofenfrischen oder, wie es in Rücksicht auf die Eigenthümlichkeiten des Arbeitsverfahrens häufiger genannt wird, das Puddeln.[1])

Der Cortsche Flammofen genügte nun allerdings dem Zwecke, die Verwendung von Steinkohlen an Stelle der Holzkohlen für die Darstellung schmiedbaren Eisens zu ermöglichen; er war aber noch weit davon entfernt, als eine Verbesserung des bisherigen Verfahrens auch in anderer Beziehung zu erscheinen. Nach dem Muster aller übrigen bis dahin benutzten Flammöfen besass der Cortsche Ofen einen Herd aus kieselreichem Materiale, auf welchem die Bildung einer basischen, eisenoxydreichen Schlacke unmöglich war. Die entstehende Schlacke vermochte nicht eine starke Oxydationswirkung auf den im Eisenbade befindlichen Kohlenstoff auszuüben, und die Verbrennung des letzteren musste vorwiegend durch unmittelbare Einwirkung des Gasstromes erfolgen, während die von dem Eisen dem Gasstrome dargebotene Oberfläche geringer war als bei dem tropfenweisen Niederschmelzen im Frischfeuer. Auch das schon von Cort in Anwendung gebrachte unausgesetzte Rühren des Metallbades mit eisernen Stangen vermochte diesen Uebelstand nur in beschränktem Maasse abzumindern.

Die Zeitdauer der Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen war aus diesem Grunde beträchtlich; in der längeren Zeit aber wurden grössere Mengen Eisen oxydirt und Brennstoff verbraucht.

Wo also nicht durch einen gänzlichen Mangel an Holzkohlen eine dringende Veranlassung zur Einführung des neuen Verfahrens gegeben war, sah man noch davon ab, und Cort starb im Jahre 1880, ohne von seiner Erfindung besonderen Nutzen gehabt zu haben.

Einen entschiedenen Fortschritt machte das neue Verfahren erst, als im Jahre 1818 Baldwin Rogers in Glamorganshire die Puddelöfen mit einer eisernen Herdeinfassung, insbesondere einem eisernen Boden versah, und als dann einige Jahre später Joseph Hall, ebenfalls ein Engländer, den eisernen Herd mit eisenoxydreichen Materialien ausfutterte. Nunmehr erst waren die Vorbedingungen zur Entstehung einer oxydreichen Schlacke und zur raschen Durchführung des Verfahrens gegeben. In der That stieg alsbald nach Einführung dieser Verbesserungen die Leistung eines Ofens auf das Dreifache, während der Abbrand und Brennstoffverbrauch sich verringerten. Im

1) To puddle = umrühren.

Vergleiche zu dem Frischfeuerbetriebe bot jetzt das Puddelverfahren nicht allein den Vortheil der Benutzung roher und mithin billigerer Brennstoffe, sondern auch der grösseren Leistungsfähigkeit des einzelnen Ofens. Als nun bald darauf die Einführung der Eisenbahnen nicht allein den Verbrauch des schmiedbaren Eisens ausserordentlich steigerte, sondern auch in Gegenden, welche selbst arm an Steinkohlen waren, ihren Bezug zu verhältnissmässig billigen Preisen ermöglichte, konnte es nicht ausbleiben, dass das nunmehr vervollkommnete Puddelverfahren in allen Ländern, wo in grösserem Maasse die Eisenerzeugung betrieben wurde, sich Eingang verschaffte und den Frischfeuerbetrieb verdrängte; ja, dass selbst da, wo Steinkohlen noch zu kostspielig waren, man daran ging, Puddelöfen mit Anwendung von Holz, Torf oder Braunkohlen, theils im rohen Zustande, theils nach vorausgegangener Vergasung, zu errichten.

In den ersten Jahrzehnten nach Einführung des Puddelns stellte man ausschliesslich ein kohlenstoffarmes Eisen — Schmiedeeisen — im Puddelofen dar. Das schon seit lange geübte Verfahren der Stahldarstellung im Frischfeuer musste die Anregung dazu geben, auch im Puddelofen die unmittelbare Herstellung von Stahl durch rechtzeitige Unterbrechung der Entkohlung zu versuchen. Ziemlich lange jedoch währte es, bis diese Versuche von durchgreifendem Erfolge gekrönt waren. Deutschland und Oesterreich, wo der Herdfrischstahl seit Alters her erzeugt wurde, lieferten auch den ersten Puddelstahl. Nach Tunner[1]) wurde 1835 von einem kärntnischen Eisenwerke Puddelstahl dargestellt; in den vierziger Jahren beschäftigte sich auch ein westfälisches Eisenwerk mit der Erzeugung von Puddelstahl. Allgemein bekannt wurde der Puddelstahl erst seit der Londoner Weltausstellung im Jahre 1851, auf welcher verschiedene westfälische Werke Proben zur Anschauung gebracht hatten.

b) Der Puddelofen.

Trotz der unleugbaren Vorzüge, welche in zahlreichen Fällen die Gasfeuerungen vor den Rostfeuerungen besitzen, ist doch auch jetzt noch eine grosse Zahl aller vorhandenen Puddelöfen mit Rostfeuerung versehen. Die Gründe, weshalb man gerade in diesem Zweige des Eisenhüttenbetriebes die Gasfeuerung nicht ganz so häufig als bei manchen anderen zur Anwendung brachte, sind verschieden. Eine Eigenthümlichkeit der Gasfeuerungen, welche in manchen anderen Fällen die Hauptveranlassung zu ihrer Einführung gab, die leichtere Erzeugung hoher Verbrennungstemperaturen, kommt beim Puddelofenbetriebe weniger in Betracht, weil man hier keiner höheren Temperaturen bedarf, als auch bei Rostfeuerung leicht zu erreichen sind, sofern man Steinkohlen als Brennstoff benutzt; andererseits ist gerade beim Puddelofenbetriebe ein öfter rasches Wechseln der Temperatur erforderlich, welches sich bei Rostfeuerung ziemlich leicht, bei manchen

1) Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben und Přibram 1853, Seite 281. Vergl. auch H. Fehland, „Geschichtliches über die Puddelstahlfabrikation" in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 224.

Gasfeuerungen weniger leicht erzielen lässt. Gegen die Anwendung von Siemensfeuerungen ist — abgesehen von ihren höheren Anlagekosten — mitunter die Beobachtung geltend gemacht worden, dass die Wärmespeicher dieser Oefen beim Puddeln leichter als bei anderen Verfahren durch Flugstaub verstopft werden, und dass, wo nicht Wasserkraft für den Betrieb der beim Puddeln erforderlichen Zängevorrichtungen und Luppenwalzwerke vorhanden ist, die alsdann unentbehrlichen Dampfkessel bei Puddelöfen mit Siemensfeuerung eines besonderen Aufwandes von Heizmaterial bedürfen, während bei Rostfeuerung und auch bei einfacherer Gasfeuerung die abziehenden heissen Gase des Puddelofens zur Erzeugung des erforderlichen Dampfes auszureichen pflegen. Hierdurch wird die bei Siemensfeuerungen erreichbare Brennstoffersparung zum Theil wieder ausgeglichen. Daher findet man Siemensfeuerungen vornehmlich da in Benutzung, wo geringwerthige Brennstoffe, insbesondere Braunkohlen, zum Puddeln benutzt werden sollen, welche in jenen Oefen leichter als bei Verbrennung auf dem Roste die erforderliche Temperatur entwickeln.

Je nachdem die Puddelöfen den Arbeitern nur von einer Seite zugänglich sind oder — bei entsprechend grösserer Breite — an zwei gegenüber liegenden Seiten Thüren besitzen, wodurch die Verarbeitung grösserer Einsätze als in jenem Falle ermöglicht wird, unterscheidet man einfache und Doppelpuddelöfen.

Einfache Puddelöfen.

Sie sind für einen jedesmaligen Einsatz von 220—275 kg Roheisen bestimmt und in den allermeisten Fällen mit Rostfeuerung versehen. Ein derartiger Puddelofen ist in Fig. 241 bis 244 dargestellt. Seine allgemeine Einrichtung ist die nämliche wie bei den meisten anderen Flammöfen (Seite 128) und leicht aus der Abbildung ersichtlich. An der einen Seite des Ofens liegt der Rost, welcher, gemäss der verschiedenen Beschaffenheit des zur Verwendung kommenden Brennstoffs, als Planrost oder als Treppenrost eingerichtet sein kann und von einer Schüröffnung an der Vorderseite des Ofens aus bedient wird; über die Feuerbrücke hinweg gelangt die Flamme auf den Herd, um, nachdem sie diesen verlassen hat, durch einen Fuchskanal entweder unmittelbar nach einer Esse oder — häufiger — zunächst nach einem Dampfkessel und von hier nach der Esse geführt zu werden. In Fig. 243 ist der stehende Dampfkessel angedeutet, welcher durch die Abhitze des abgebildeten Ofens geheizt wird.

Eigenthümlich ist die durch den Zweck des Ofens bedingte Einrichtung des Herdes. Die Grundform entspricht keineswegs den früher (Seite 128 ff.) erörterten Bedingungen für eine möglichst günstige Ausnutzung der entwickelten Wärme; sie ist jedoch nothwendig, damit man im Stande sei, von einer einzigen bestimmten Stelle an der Vorderseite des Ofens aus, und zwar von da, wo die kleine Thüröffnung sich befindet, mit einer eingeschobenen Eisenstange sämmtliche Stellen des Herdes zu erreichen. Wenn also der Abstand der Feuerbrücke von der Fuchsbrücke, d. i. die Länge des Herdes, sowie seine Breite an der Fuchs- und Feuerbrücke bestimmt sind, beschreibt man von

jenem Punkte aus einen Bogen, welcher die rückseitige Begrenzung des Herdes bildet; und durch gerade Linien verbindet man die Thüröffnung mit der Feuerbrücke und Fuchsbrücke.

Da aber von der Thür aus fast unausgesetzt kalte Luft in den Ofen einströmt, würde der Herd ungleichmässig erwärmt werden, und an der Vorderseite kalt bleiben, wenn man der Feuerbrücke und Fuchsbrücke die gleiche Mittellinie geben, also die Flamme durch die Mitte des Ofens führen wollte. Man vermeidet den Nachtheil, indem man die Fuchsbrücke um 80 bis 90 mm weiter nach vorn verlegt (Fig. 243 und 244). Zu demselben Zwecke bringt man die Thüröffnung der Feuerbrücke etwas näher als der Fuchsbrücke (Fig. 243); der Winkel, welchen die Herdbegrenzung zwischen Thür und Fuchsbrücke mit der Mittellinie bildet, wird hierdurch flacher, die Flamme findet für ihre Fortbewegung an dieser Seite geringere Widerstände. Auch die Form des Gewölbes, welches den Herd überspannt, ist der Erreichung des Zieles angepasst (Fig. 244); es liegt an der Thürseite höher als an der Rückseite, damit der Ofenquerschnitt nach der Thürseite hin sich erweitere und die Flamme veranlasst werde, vorzugsweise hier ihren Weg zu nehmen.

Die Sohle des Ofenherdes wird, wie schon erwähnt wurde, durch Gusseisenplatten gebildet, welche quer von einer Seite des Ofens zur andern hinübergehen und frei auf eisernen Trägern oder gemauerten Pfeilern aufliegen, so dass die Luft von unten her zutreten und abkühlend auf die Platten wirken kann.

Auch die Seitenbegrenzungen des Herdes sind gekühlt. Am vollkommensten wird dieser Zweck in der durch die Abbildung veranschaulichten Art und Weise erreicht. Eine hohl gegossene Einfassung, Herdeisen oder Legeeisen genannt, im Innern etwa 50 mm weit, umschliesst den ganzen Herd mit Ausnahme der Thüröffnung und wird durch hindurchgeleitetes Wasser kühl erhalten. Man giesst das Legeeisen entweder in einem oder — der leichteren Herstellung halber — in zwei Stücken, welche an der Rückseite zusammenstossen und in geeigneter Weise verbunden sind (vergl. Fig. 243). Die beiden Enden des Legeeisens ragen vorn neben der Ofenthür aus dem Ofen heraus und sind hier mit eisernen Röhren von etwa 25 mm Weite verschraubt, durch deren eine das Kühlwasser von einem höher gelegenen Behälter aus zufliesst, um, nachdem es den Herd umkreist hat, durch die zweite abzufliessen. Der Zufluss findet an der Seite der Feuerbrücke statt, weil diese der stärksten Kühlung bedarf, der Abfluss an der Seite der Fuchsbrücke. Zweckmässig ist es, den Abfluss so einzurichten, dass das Wasser durch die freie Luft in ein Abfallrohr mit Trichter oder in einen neben dem Ofen befindlichen Wassertrog hinabfliesst, damit man sofort bemerkt, wenn etwa eine Verstopfung der Leitung eingetreten sein sollte. Der erforderliche Wasserbedarf zur Kühlung des Legeeisens beträgt etwa 12—15 kg in der Minute.

In anderen Fällen hat man sich darauf beschränkt, nur die Fuchs- und Feuerbrücke vermittelst eines hindurchgehenden Rohres zu kühlen, die Rückwand nicht; mitunter auch hat man sich mit einer Luftkühlung statt der Wasserkühlung begnügt. Hinsichtlich der bedeutend geringeren Wirkung der Luftkühlung, zumal wenn nur der natürliche

Puddelofen mit Rostfeuerung

$\frac{1}{40}$ der wirklichen Grösse.

Fig. 241.

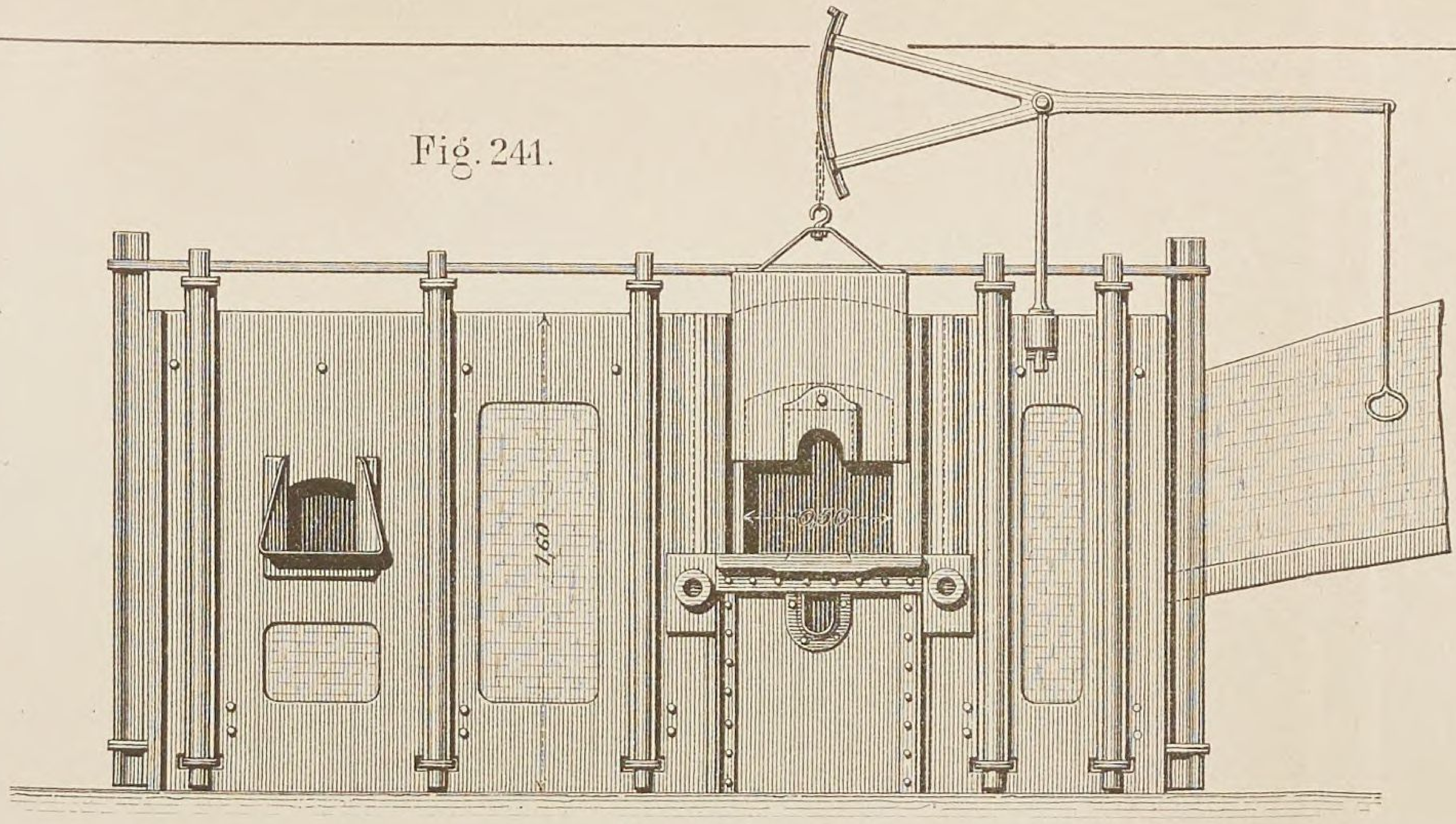


Fig. 242.

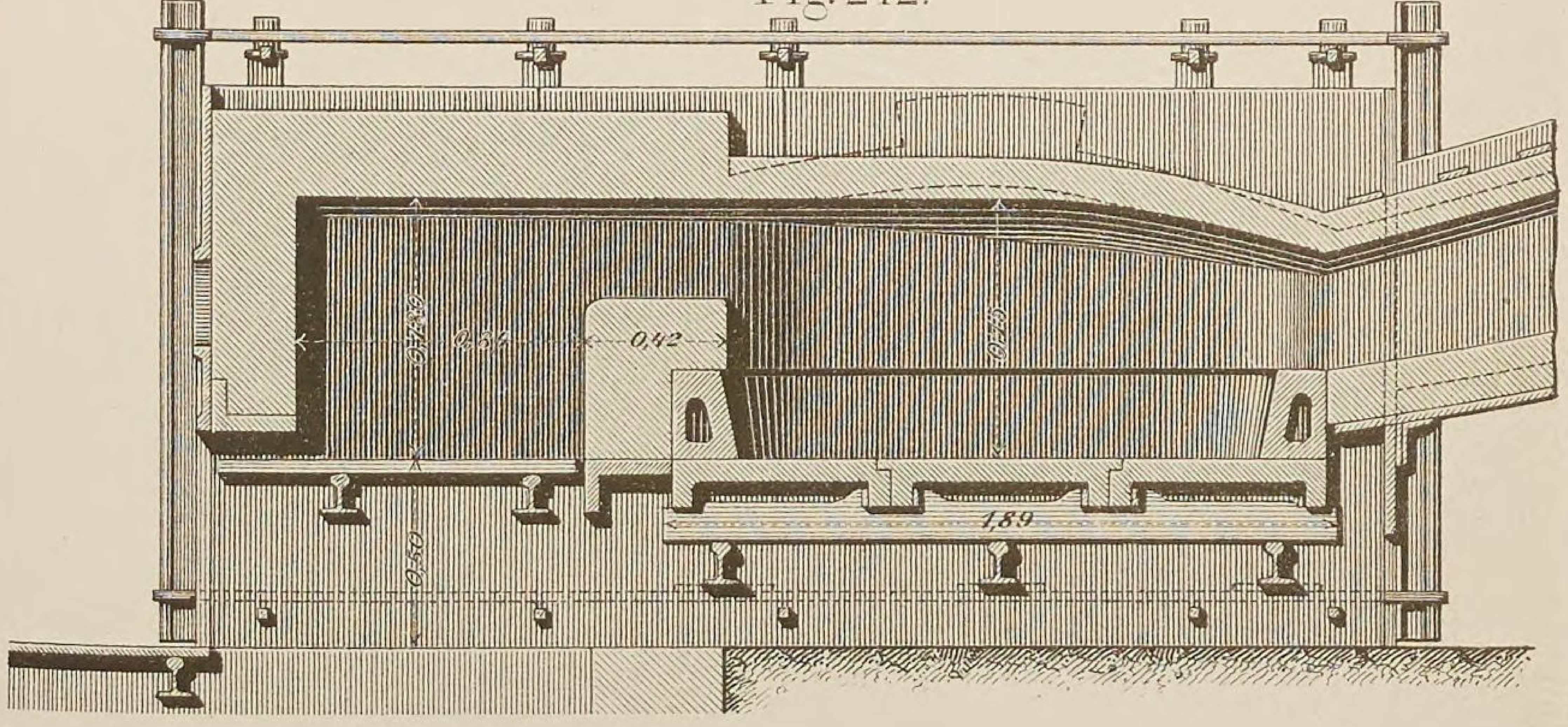


Fig. 244.

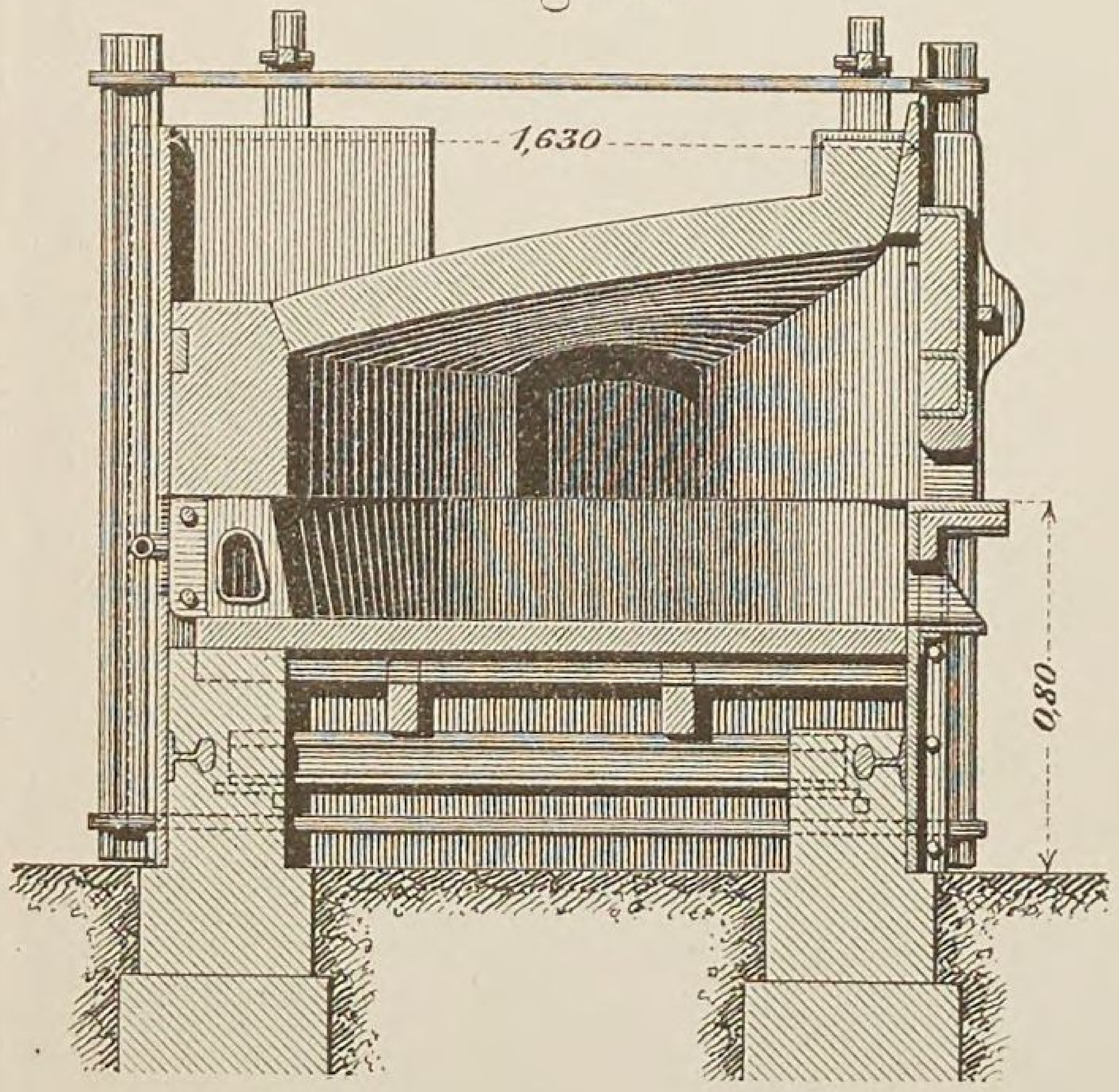
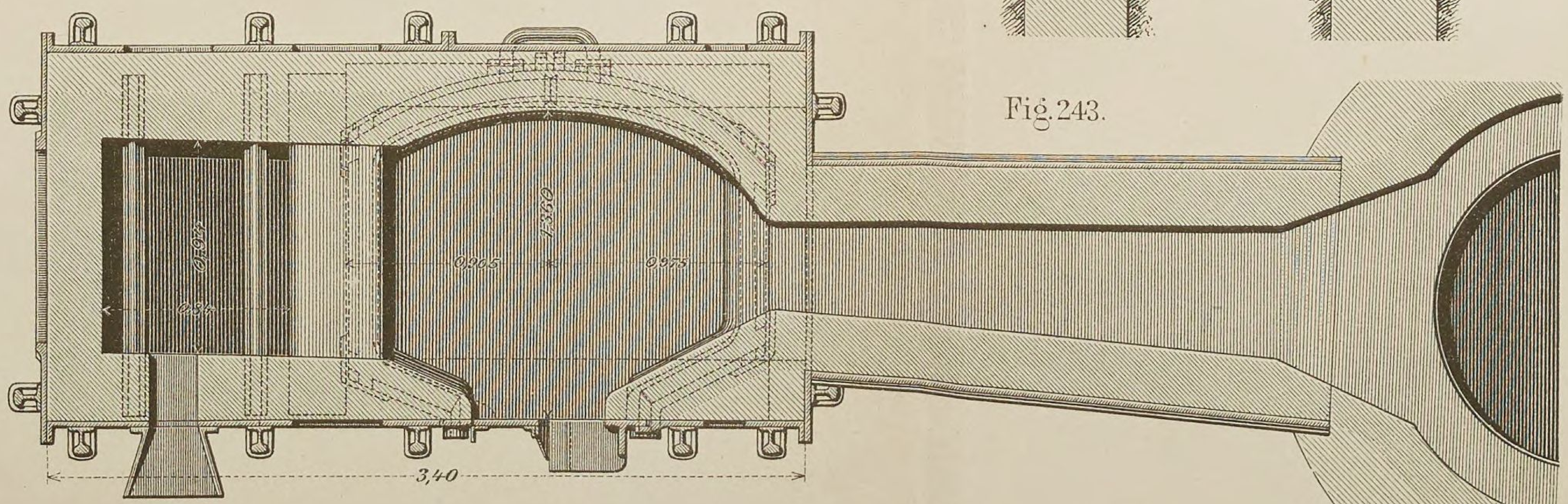


Fig. 243.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Luftzug dafür benutzt wird, möge auf das auf Seite 158 Gesagte verwiesen werden.

Es ist unleugbar, dass eine kräftige Kühlung, wie sie ein ringsherum laufendes Legeeisen bewirkt, auch eine gewisse Erhöhung des Brennstoffverbrauches erheischt; die Kosten hierfür aber sind geringer als die Mehrkosten, welche die geringere Haltbarkeit eines weniger stark gekühlten Ofens verursacht.

Wie schon erwähnt wurde, erhält der gusseiserne Herd, ehe er in Benutzung genommen werden kann, eine Ausfutterung aus eisenoxydreichen Schlacken, gewöhnlich Puddel- oder Schweissofenschlacken; auch reine Eisenerze werden mitunter verwendet. Man bestreicht zu diesem Zwecke die Bodenplatte und die innere Seite des Legeeisens mit Thon, schüttet die Schlacken, welche zu Wallnuss- bis Faustgrösse zerschlagen wurden, hinein, breitet sie aus und feuert nunmehr den Ofen an. Zeigt sich an der Oberfläche die beginnende Sinterung, so bricht man mit einer eisernen Stange die Schlacken auf, bringt die unten liegenden Theile nach oben u. s. w., bis das Ganze eine gleichmässig dickbreiige Beschaffenheit angenommen hat. Alsdann schüttet man Hammerschlag, Eisendrehspäne oder ähnliche Körper hinein, welche entweder von vornherein schon sehr eisenoxyduloxydreich sind oder unter der oxydirenden Einwirkung des Gasstromes doch leicht in Eisenoxyduloxyd umgewandelt werden und die Strengflüssigkeit des Futters erhöhen, vertheilt sie möglichst gleichmässig, schliesst dann die Thüren und giebt mehrere Stunden hindurch starke Hitze. Nunmehr öffnet man die Thür, vertheilt die Masse, welche unter der Einwirkung der durch die Thür eintretenden kalten Luft rasch teigig wird, gleichmässig am Boden und ringsum an den Wänden, so dass der Herd Muldenform bekommt, und lässt nun allmählich erkalten. Ein gut gelungener Herd darf weder Risse noch Vorsprünge an der Oberfläche zeigen, welche letztere leicht zu der Bildung grösserer Ansätze geschweissten Eisens Veranlassung geben.

Die Stärke des Schlackenherdes pflegt in der Mitte 100—120 mm, an den Rändern 120—150 mm zu betragen.

Nach jedem Einsatze wird der Herd nachgesehen und, wenn nöthig, ausgebessert. Ist er allzu schadhaft geworden, was regelmässig nach Verlauf einiger Monate, mitunter auch nach kürzerer Zeit geschieht, so wird er nach dem Kaltlegen des Ofens ausgeschlagen und neu hergestellt.

Die Einrichtung der an der Vorderseite des Ofens befindlichen Einsatzthür ist aus Fig. 241 und 244 ersichtlich. Sie besteht aus einem kastenförmigen Gussstücke und ist an der dem Ofeninnern zugekehrten Seite mit feuerfesten Ziegeln oder feuerfester Masse ausgefuttert. Mit Hülfe eines Hebels und einer Kette wird sie emporgezogen und wieder niedergelassen, wobei sie zwischen senkrechten, an die gusseisernen Umkleidungsplatten des Ofens angegossenen Leisten geführt ist. Damit aber nicht während der lange andauernden Arbeiten mit Rührhaken und Brechstangen im Ofen die ganze Thür emporgezogen zu werden braucht — wobei reichliche Mengen äusserer Luft eintreten und den Ofen abkühlen würden —, ist an ihrer unteren Seite eine kleinere Oeffnung, etwa 120 bis 150 mm breit und hoch, die Arbeitsthür

genannt, ausgespart, durch welche jene Werkzeuge in den Ofen hineingeschoben werden können. Da die Ränder dieser Oeffnung durch die Werkzeuge stark zu leiden haben, pflegt man sie mit einem besonderen Einsatzstücke aus Gusseisen zu versehen, welches nach Bedarf ausgewechselt werden kann, wie in Fig. 241 und 244 zu erkennen ist.

Auf englischen Eisenwerken verwendet man bisweilen wassergekühlte Thüren, denen das Wasser durch Kautschukschläuche zugeführt wird. Sie sind haltbarer, und für den Arbeiter ist der Aufenthalt in der unmittelbaren Nähe der Thür dadurch weniger beschwerlich.

Unterhalb der Thür befindet sich eine starke wagerecht liegende Gusseisenplatte, die *Schwelle*, auf welcher die Thür, wenn sie geschlossen ist, aufruht. Sie bildet zugleich die Unterstützung für die mehrfach erwähnten Rührhaken und Brechstangen und pflegt durch deren unausgesetzte Hin- und Herbewegung ziemlich rasch abgenutzt zu werden. Häufig (auch bei dem abgebildeten Ofen) giebt man ihr in Rücksicht hierauf einen Einsatz aus hartem Stahle unterhalb der Arbeitsthür, welcher der Abnutzung länger widersteht und sich ohne Schwierigkeit auswechseln lässt.

Den Fuchskanal lässt man entweder, wie bei dem abgebildeten Ofen, etwas ansteigen (*fliegender Fuchs*), oder man giebt ihm umgekehrt Neigung vom Ofen aus abwärts (*fliessender Fuchs*). Bei einem Fuchse der erstern Art fliesst die Schlacke, welche beim Aufkochen des Eisens in den Fuchs tritt, in den Ofen zurück; bei dem andern Fuchse fliesst sie in der Richtung des Flammenstromes abwärts und sammelt sich an der tiefsten Stelle, von wo man sie durch eine Oeffnung in der Umfassungswand austreten lässt. Besondere Vortheile besitzt keine der beiden Anordnungen vor der andern.

Einige Abweichungen von der beschriebenen Einrichtung verdienen Erwähnung.

Wo man ausreichend aschenarme Kohlen zur Verfügung hat, betreibt man die Puddelöfen nicht selten mit *Unterwind* (Seite 184), spart dadurch an Brennstoff, erschwert den Eintritt kalter Luft durch die Arbeitsthür und wird leichter befähigt, die Temperatur im Ofen zu regeln.

Um das für die Verarbeitung bestimmte Roheisen vorzuwärmen, dadurch die Zeitdauer der Arbeit abzukürzen und den Brennstoffverbrauch zu verringern, ordnet man bisweilen hinter dem eigentlichen Herde einen zweiten Herd, *Vorwärmherd* genannt, an, auf welchem das Roheisen sich befindet, während der vorausgehende Einsatz verarbeitet wird. Die Abhitze des Ofens wird nunmehr, ehe sie zum Dampfkessel gelangt, auch benutzt, das Roheisen zu wärmen; ist der vorausgehende Satz beendet, schiebt man das Roheisen über die Fuchsbrücke des Puddelherdes auf diesen hinüber. Die Abbildungen Fig. 245 und 246 zeigen die Einrichtung eines solchen mit Vorwärmherd versehenen Puddelofens.

Man kann rechnen, dass durch Anwendung eines Vorwärmherdes der Brennstoffverbrauch um etwa 15 Hunderttheile sich verringert, während die Erzeugung des Ofens in dem gleichen Verhältnisse zunimmt.

1) Näheres über die Anwendung von Unterwind bei Puddelöfen: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 169 und 229.

In manchen Fällen will man freilich noch erheblich günstigere Ergebnisse erlangt haben. Jedenfalls würde dieses Vortheils halber die Anordnung der Vorherde eine noch häufigere Anwendung gefunden haben, als es thatsächlich der Fall ist, wenn nicht der Uebelstand eines stärkeren Abbrandes beim Roheisen damit verknüpft wäre. Während des längeren Glühens oxydirt sich ein verhältnissmässig grosser Theil des Eisens und geht dann, wenn das Schmelzen im Puddelherde beginnt, in die Schlacke. Nicht alle Roheisensorten sind diesem Vorgange in gleichem Maasse unterworfen; weisses, etwas manganhaltiges Roheisen durchschnittlich weniger als graues. Daher erklärt es sich, dass in einzelnen Gegenden die Vorherde ziemlich verbreitet sind (Steiermark, Lothringen), in anderen dagegen sich des hohen Abbrandes wegen als unvortheilhaft erwiesen haben.

Fig. 245.

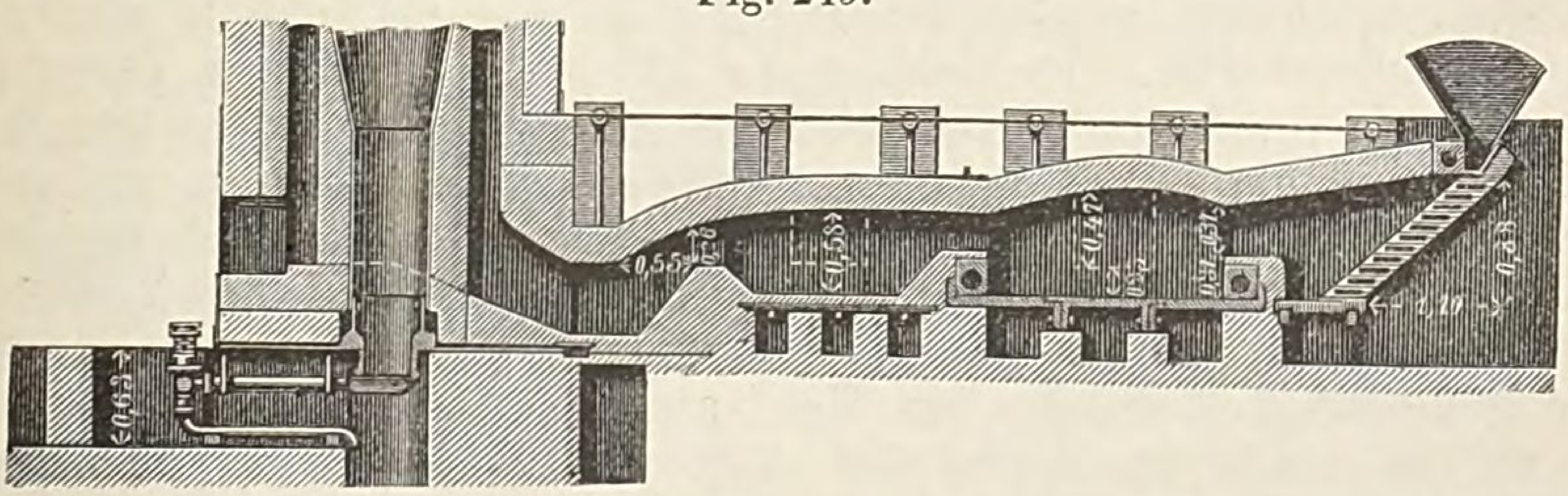


Fig. 246.

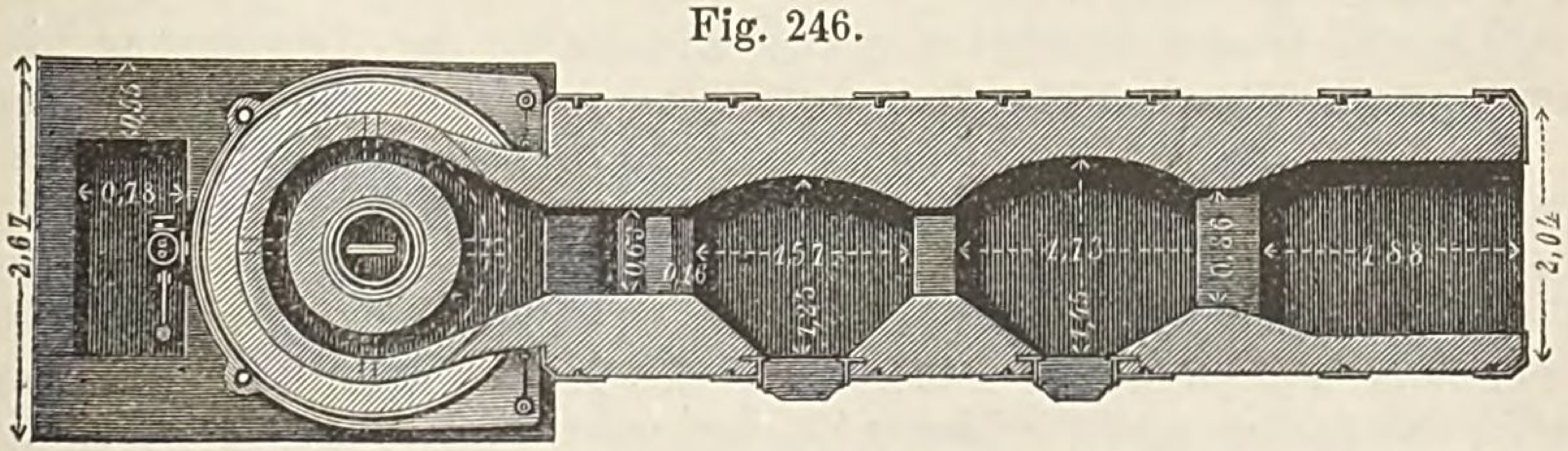


Fig. 245 lässt zugleich die Anordnung eines Treppenrostes, wie er für Braunkohlenfeuerung üblich ist, erkennen. Links ist der untere Theil des stehenden Dampfkessels, welcher durch die abziehenden Gase geheizt wird, sichtbar.

Für die Abmessungen der einfachen Puddelöfen lassen sich nachstehende Beziehungen als maassgebend annehmen. Die Grösse der Rostfläche muss theils von dem Brennwerthe des Feuerungsmateriales, theils von der Grösse des Einsatzes abhängig sein. Auf 100 kg Einsatz bezogen findet man bei den meisten Puddelöfen eine gesammte Rostfläche von 0,28—0,32 qm, durchschnittlich 0,30 qm. Bei Brennstoffen mit grosser Wärmeleistung und grossen Einsätzen bemisst man das Verhältniss etwas knapper, im umgekehrten Falle etwas reichlicher. Meistens schwankt die Grösse der Rostfläche zwischen 0,7 und 0,9 qm.

Das Verhältniss der freien zur gesammten Rostfläche ist in den meisten Fällen annähernd = 0,4.

Die Breite des Rostes (von der Schüröffnung nach der Rückseite des Ofens gemessen) darf ein gewisses Maass nicht übersteigen, damit

das Schüren nicht erschwert werde, und beträgt gewöhnlich 0,9—0,95 m, muss übrigens theilweise auch von der Form des Herdes abhängig sein.

Aus der Rostfläche und der Rostbreite ergiebt sich die Länge des Rostes (in der Richtung der Roststäbe) von selbst.

Die Tiefe des Rostes unter der Oberkante der Feuerbrücke beträgt gewöhnlich 0,35—0,50 m, für grobstückige Brennstoffe und gaarfrischendes Roheisen mehr, für dichtliegende Brennstoffe und rohfrischendes Eisen weniger.

Die Herdabmessungen müssen abhängig sein theils von der Grösse des Einsatzes, theils von der Beschaffenheit des zu verfrischenden Roheisens, theils auch von der Beschaffenheit des Brennstoffes. Es kommt hier in Betracht, dass eine grosse Herdfläche, auf der das Metall in dünner Schicht ausgebreitet ist, zwar eine günstigere Ausnutzung der Wärme ermöglicht, dagegen das gleichmässige Durcharbeiten erschwert. Insbesondere ist eine grosse Länge in dieser Beziehung nachtheilig. Puddelöfen für 220—250 kg Einsatz pflegt man Herdlängen (im Innern des Legeeisens gemessen) von nicht über 1,8 m bei langflammigen Brennstoffen, häufiger von 1,5 — 1,7 m zu geben, während die Breite des Herdes von der Einsatzthür bis nach der Rückwand gemessen gewöhnlich 1,3—1,4 m beträgt, so dass das Verhältniss der grössten Breite zur Herdlänge annähernd gleich 0,8 ist. Die Länge der Feuerbrücke, welche den Herd auf der einen Seite begrenzt, ist gleich der Breite des Rostes (0,9—0,95 m), die Länge der Fuchsbrücke gewöhnlich 0,4—0,6 m.

Die Tiefe des Herdes von der Oberkante des Legeeisens bis zur gusseisernen Herdsohle pflegt mit 0,25—0,3 m bemessen zu werden; in einzelnen Fällen findet man diese Abmessung nicht grösser als 0,2 m, in anderen steigt sie bis auf 0,35 m. Mit der Oberkante des Legeeisens liegt die Thürschwelle und die Unterkante der Fuchsöffnung in gleicher Ebene; ist also jene Abmessung sehr gering bemessen, so treten bei dem heftigen Aufkochen des Eisens während der Kohlenstoffverbrennung leicht grössere Schlacken- und Eisenmengen aus diesen Oeffnungen aus; eine zu bedeutende Höhe dagegen erschwert die Wärmeabgabe. Es muss also diese Abmessung zum Theil von der Art und Weise des Arbeitsverfahrens und der Beschaffenheit des Roheisens abhängig sein; setzt man reichliche Schlackenmengen zu oder giebt das Roheisen selbst Gelegenheit zur Bildung reichlicher Schlackenmengen, welche nicht etwa abgelassen werden — wie es z. B. beim Stahlpuddeln der Fall ist —, so muss der Herd tiefer sein als im andern Falle. Den Herden der Stahlpuddelöfen giebt man deshalb kaum geringere Tiefen als 0,3 m.

Die Feuerbrücke wird durch aufgelegte Steine erhöht, damit die flüssigen Massen nicht darüber hinweg auf den Rost gelangen können. Eine Abmessung von 0,15 m hierfür genügt. Es ist auch hierbei zu erwägen, dass die Wärmeabgabe um so ungünstiger ausfällt, je höher die Feuerbrückenoberkante über der Herdsohle liegt.[1]) Einen dünneren Stein legt man auch wohl an der Fuchsbrücke auf das Legeeisen, um es vor der Stichflamme zu schützen.

1) Bei dem oben abgebildeten Ofen ist diese Abmessung etwas reichlich genommen.

Die Höhe des Gewölbes über der Herdsohle in der Mitte des Ofens pflegt 0,6—0,7 m zu betragen. Je tiefer der Herd ist, desto grösser muss auch diese Abmessung sein, damit für die Einsatzthür wie für das Flammenloch die erforderliche Höhe bleibe; daher ist bei Stahlpuddelöfen mit tiefem Herde jene Höhe gewöhnlich beträchtlicher als bei Puddelöfen mit flachem Herde für sehniges Eisen und steigt bei jenen mitunter bis auf 0,75 m. In der Mitte der Feuerbrücke beträgt der Abstand des Gewölbes über der Feuerbrückenoberkante 0,25—0,35 m.

Die Grösse des Fuchsquerschnitts beträgt bei den meisten Oefen ungefähr 1/8 von der Grösse der gesammten Rostfläche. Die Breite des Fuchses ist durch die Länge der den Herd begrenzenden Fuchsbrücke (0,4—0,6 m) gegeben; aus Querschnitt und Breite ergiebt sich die Höhe, deren Maass jedoch nicht geringer als 0,20—0,25 m sein sollte, damit nicht Verstopfungen durch Schlacken oder Eisen herbeigeführt werden.

Die Abhitze der Oefen pflegt, wie erwähnt, zur Dampferzeugung benutzt zu werden, und man legt zu diesem Zwecke den Dampfkessel möglichst nahe an den Ofen. Man benutzt stehende oder liegende Dampfkessel. Häufig vereinigt man die Gase zweier Puddelöfen unter einem gemeinschaftlichen Dampfkessel, und wenn man liegende Kessel anwendet, bedient man sich einer für acht bis zwölf Puddelöfen ausreichenden Hauptesse, um die Gase abzuleiten und den Zug hervorzubringen (Seite 133). Stehende Kessel müssen durch eine Schutzwand im unteren Theile vor der Zerstörung durch die Stichflamme geschützt werden, wie Fig. 245 erkennen lässt.[1])

Doppelpuddelöfen.

Sie sind für Einsätze von 450 bis 600 kg, bisweilen noch etwas darüber, bestimmt.

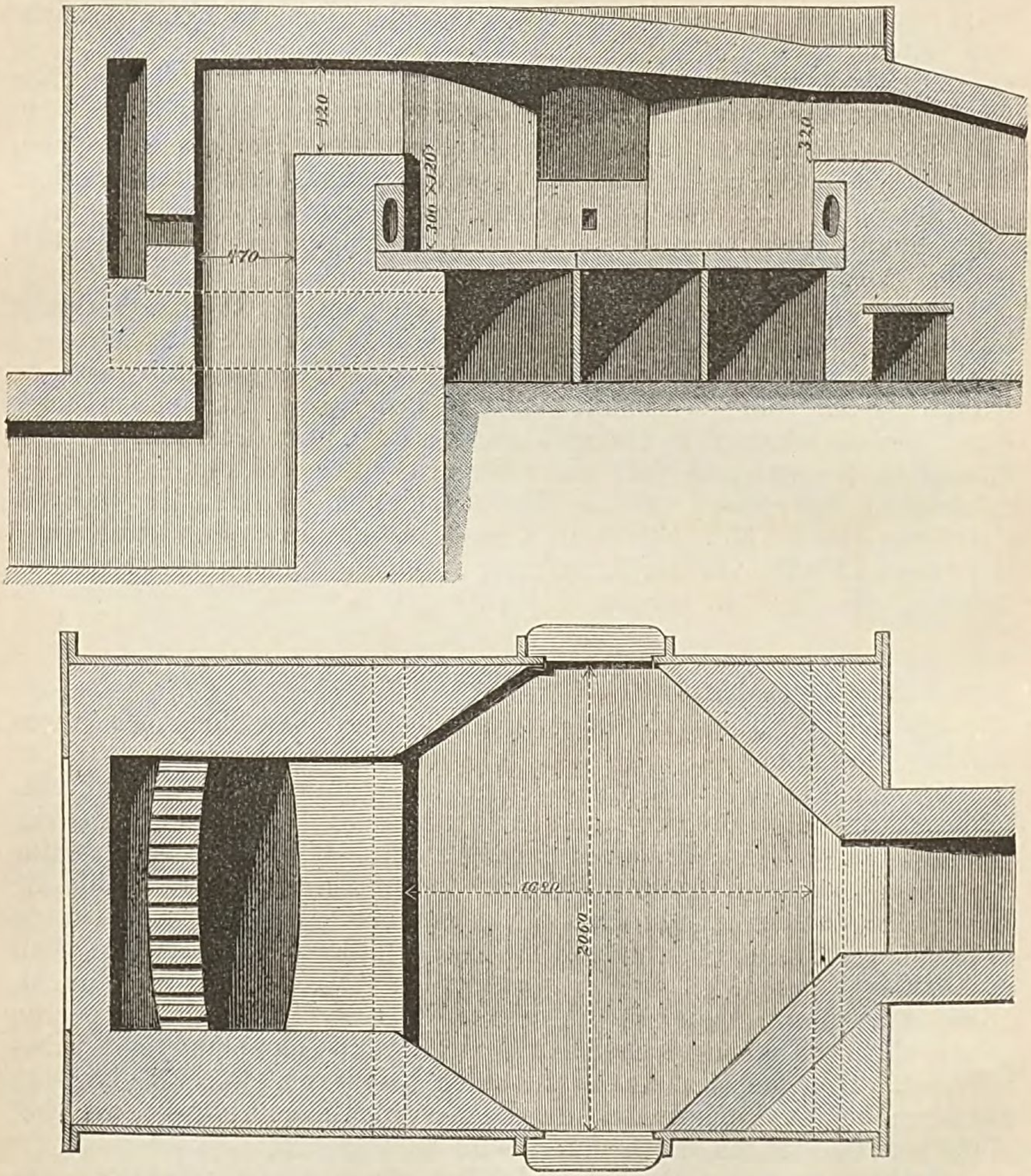
Da die Länge des Herdes sich nicht erheblich über das bei einfachen Puddelöfen übliche Maass hinaus steigern lässt, weil sonst die Gefahr entstehen würde, dass am Ende des Herdes die Temperatur zu niedrig ausfalle, muss die Breite vergrössert werden, damit die Herdfläche dem grösseren Einsatze entspreche. Um aber das Durcharbeiten des Einsatzes auf dem breiteren Herde zu ermöglichen, sind auf beiden Längsseiten einander gegenüber Arbeitsthüren angebracht. Diese Anordnung zweier sich gegenüber liegender Arbeitsthüren wurde schon oben als kennzeichnendes Merkmal der Doppelpuddelöfen bezeichnet. Die Fuchsbrücke befindet sich bei diesen Oefen ebenmässig zwischen beiden Längsseiten, da die Veranlassung fehlt, sie, wie bei einfachen Puddelöfen, nach einer Seite zu verlegen.

Zum Heizen der Doppelpuddelöfen pflegt man Gasfeuerung anzuwenden, welche leichter als Rostfeuerung die Möglichkeit gewährt, auch den breiteren Herd gleichmässig zu erwärmen. Häufig kommt insbesondere die Bicherouxfeuerung (Seite 152) zur Anwendung, welche sich der verhältnissmässig grossen Breite ihres Gaserzeugers halber

1) Einige sonstige Regeln für die Einrichtung der Puddelöfen enthält das Buch: H. Fehland, Die Fabrikation des Eisen- und Stahldrahtes. Weimar 1886.

besser für Doppel- als für einfache Puddelöfen eignet. Die Einrichtung dieser Oefen im Allgemeinen, insbesondere die Form des Gaserzeugers und die Art und Weise der Luftzuführung, ist ganz dieselbe wie oben beschrieben wurde; die Form des Herdes eines solchen Doppelpuddelofens ist durch Fig. 247 und 248 dargestellt. Die Abhitze lässt sich

Fig. 247 und 248.



auch hier noch, wie bei einfachen Puddelöfen mit Rostfeuerung, zur Dampferzeugung benutzen.

Auch bei den Doppelpuddelöfen ist man von jeher bemüht gewesen, durch Vorwärmung des Roheisens die Erzeugungsfähigkeit der Oefen zu vergrössern, den Brennstoffverbrauch zu vermindern. Da diese Oefen, wie erwähnt, meistens mit Gasfeuerung versehen sind,

Springers Puddelofen.

1/75 der wirklichen Grösse.

Fig. 249. Schnitt A-B-C-D.

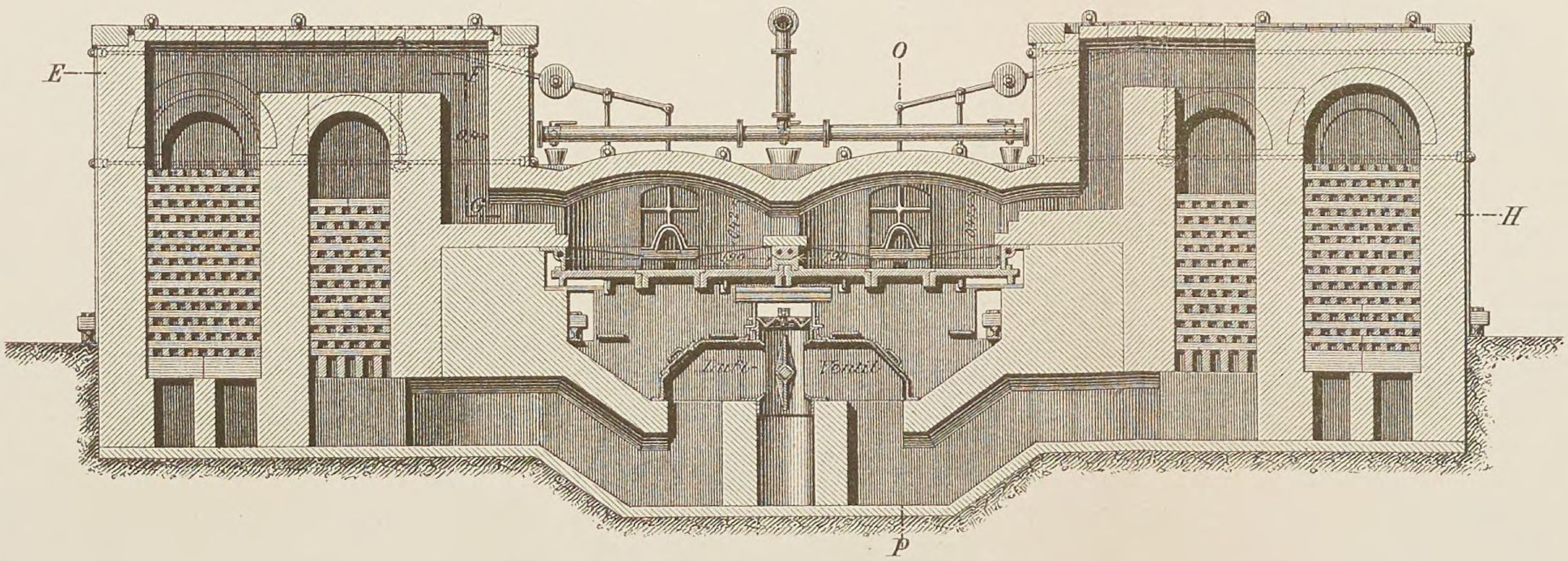


Fig. 250. Schnitt E-F-G-H

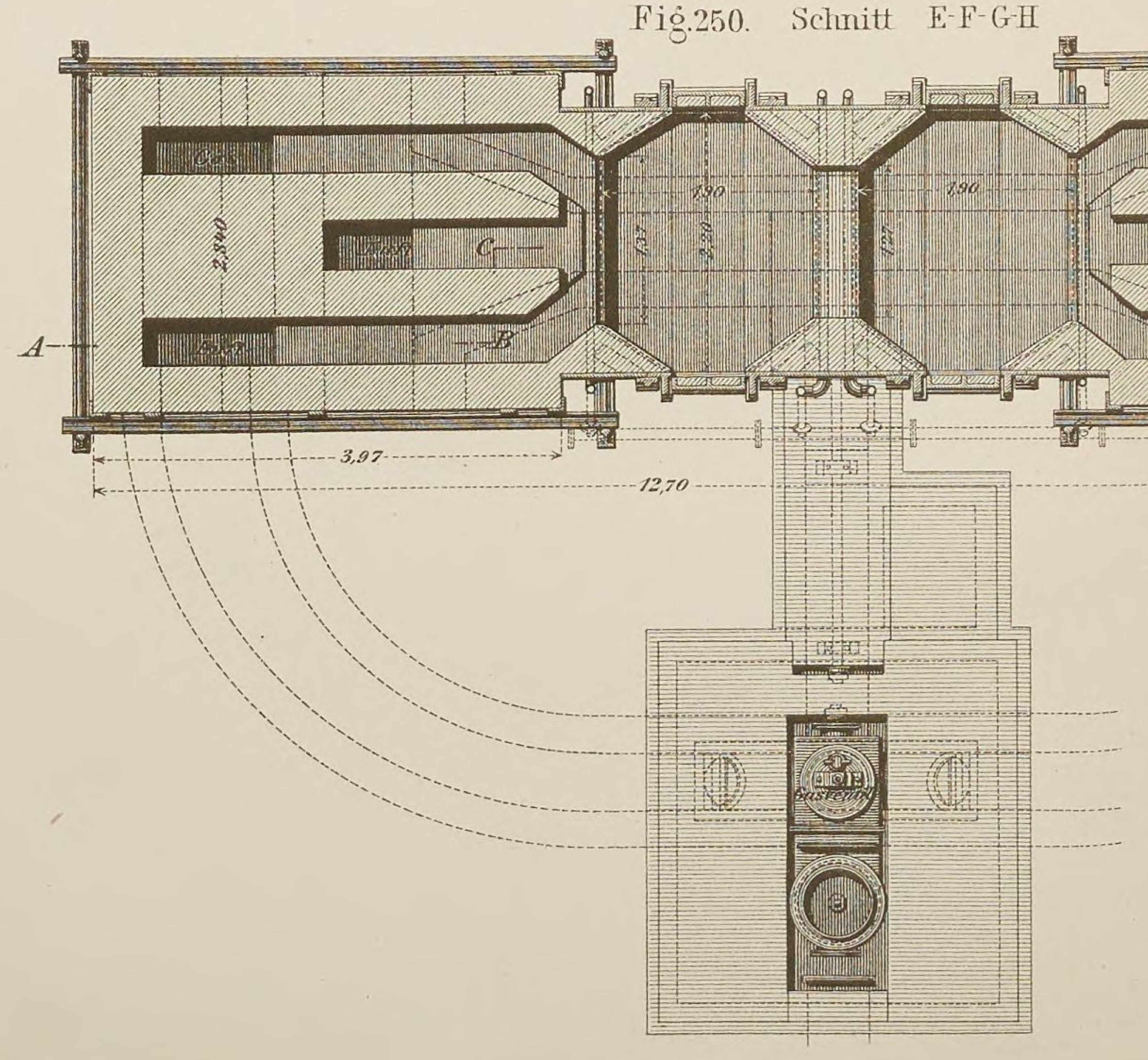
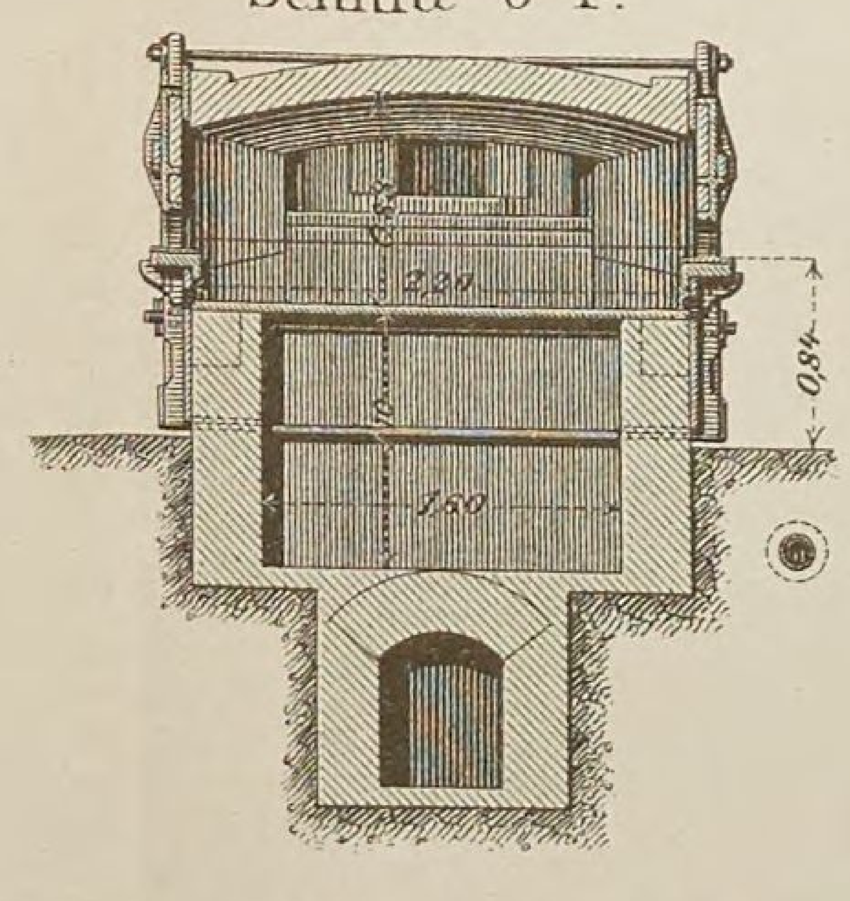


Fig. 251
Schnitt O-P.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

man bei Gasfeuerung aber mit geringerem Luftüberschusse als bei Rostfeuerung eine vollständige Verbrennung zu erzielen vermag (S. 97), und da aus diesem Grunde die Flamme der Oefen mit Gasfeuerung weniger freien Sauerstoff als bei Rostfeuerung zu erhalten pflegt, ist der oben (Seite 811) erwähnte Nachtheil der Vorwärmung durch die Abhitze weniger von Belang; die Temperatur auf den Vorwärmherden der Oefen mit Gasfeuerung aber ist durchschnittlich etwas höher als bei Rostfeuerung und deshalb der erreichbare Nutzen grösser. Diese Umstände haben in der Neuzeit mehrfach Veranlassung zu einer eigenthümlichen Aenderung der früher benutzten Einrichtung des Vorwärmherdes gegeben, von welchem aus das Roheisen nach Beendigung jedes Satzes auf den Puddelherd hinüber geschafft werden musste. Man giebt dem Ofen zwei ganz gleiche Herde, von denen jeder abwechselnd zum Vorwärmen und Puddeln benutzt wird. Das eingesetzte Roheisen bleibt demnach von Anfang an bis zuletzt auf demselben Herde; aber eine Vorkehrung ist erforderlich, dass der gerade zum Puddeln dienende Herd, welcher der stärksten Erhitzung bedarf, jedesmal zuerst von der Flamme getroffen wird.

Am einfachsten lässt sich dieses Ziel erreichen, wenn man Siemensfeuerung anwendet und die Umsteuerung des Flammenstromes regelmässig beim Einsetzen des Roheisens stattfinden lässt. Nach diesem Grundsatze sind die von Springer erbauten, auf ziemlich vielen Eisenwerken zur Anwendung gelangten Doppelpuddelöfen eingerichtet.[1]) Ein solcher Ofen ist in Fig. 249, 250 und 251 abgebildet. Die Einrichtung der beiden Herde, welche durch ein quer durch den Ofen hindurch gehendes Legeeisen mit Wasserkühlung von einander getrennt sind, wird ohne Weiteres verständlich sein. In Fig. 249 ist die Wasserleitung oberhalb des Ofens erkennbar, welche den drei selbständig von einander angeordneten und die seitliche Herdbegrenzung bildenden Legeeisen das Kühlwasser zuführt. Die Wärmespeicher des abgebildeten Ofens sind in Rücksicht auf die verhältnissmässig häufig (etwa alle sechs Wochen) nothwendig werdenden Reinigungen oberirdisch angeordnet[2]). Das Gasventil liegt seitlich vom Ofen (Fig. 250), das Luftventil dagegen unter der Bodenplatte. Durch diese Anordnung des Luftventiles wird unter der Bodenplatte ein lebhafter, ihre Kühlung befördernder Luftwechsel erzielt, und die Luft selbst wird bereits vorgewärmt, ehe sie zum Wärmespeicher gelangt. Wohl in einiger Ueberschätzung des Maasses dieser Vorwärmung hat man, im Gegensatze zu der sonst geltenden Regel, den Wärmespeichern für die Luft kleineren Querschnitt als denen für das Gas gegeben.[3])

Bei einem Doppelpuddelofen von Piëtzka mit zwei Herden, deren Form und Abmessungen denen des abgebildeten Springerofens ganz ähnlich sind, aber mit einfacherer Gasfeuerung, ist die den Siemens-

1) Sie sind im Betriebe unter anderen in Donawitz (Steiermark), Hermannshütte (Böhmen), Königin-Marienhütte (Sachsen), Maxhütte (Bayern), Völklingen a. d. Saar. Einiges Nähere hierüber: „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 554 und 776.

2) Ein Springerofen mit liegenden Wärmespeichern seitlich vom Ofen ist in Ledebur, Gasfeuerungen, Fig. 40 bis 42 (Seite 90) abgebildet.

3) Bei späteren Oefen dieser Art, z. B. bei dem in vorstehender Anmerkung erwähnten Ofen, sind die Wärmespeicher gleich gross oder die für Gas auch wohl noch etwas grösser als die für Luft.

feuerungen eigenthümliche Umschaltung der Flammenrichtung dadurch entbehrlich gemacht, dass beide Herde nebst ihren seitlichen Begrenzungen und dem von diesen getragenen Gewölbe in wagerechter Ebene um 180 Grad gedreht werden, wenn ein Satz beendet ist, der inzwischen vorgewärmte Einsatz zum Verpuddeln gelangen und ein neuer Roheiseneinsatz gegeben werden soll. Zu diesem Zwecke wird die Herdplatte nebst allen zu bewegenden Theilen von dem Kolben eines darunter stehenden Wasserdruckcylinders getragen; soll die Drehung erfolgen, so hebt man die Theile so weit, dass sie aus dem Anschlusse an das Flammenloch auf der einen Seite und an den Fuchskanal auf der andern Seite frei werden, worauf mit Haken die Drehung vollführt und der Herd wieder in die frühere Höhenlage gesenkt wird. Die Trennungsfugen zwischen den beweglichen und den festliegenden Theilen haben schräge (nach unten sich nähernde) Lage, so dass das Emporheben ohne Gefahr einer Beschädigung der Theile möglich ist.[1]) Der Erfolg dieser Einrichtung ist der gleiche wie beim Springerofen; das Heben und Wenden des Herdes aber erheischt einen grösseren Arbeitsaufwand als die Umsteuerung der Flammenrichtung bei den Siemensfeuerungen, und wo nicht etwa ohnehin Druckwasser für das erforderliche Anheben zur Verfügung steht, gestaltet sich die Einrichtung umständlicher als die Anlage von Oefen mit Siemensfeuerungen nach Springers Entwurfe.

c) Das Arbeitsverfahren.

Die Arbeit beginnt mit dem Einsetzen des Roheisens in den bereits vollständig erhitzten Ofen.

Mehrfach hat man in früherer Zeit versucht, das Roheisen in besonderen Oefen, insbesondere Kupolöfen, zu schmelzen, um den Puddelofen besser auszunutzen und an Brennstoff zu sparen.[2]) Ein Nutzen ist jedoch hierbei nicht erreicht worden. Die Erklärung hierfür liegt in dem Umstande, dass während des Einschmelzens im Puddelofen selbst schon chemische Veränderungen des Roheisens herbeigeführt werden, durch welche das spätere Verfahren abgekürzt wird. Die Ersparung an Zeit bei Anwendung geschmolzenen Roheisens ist mithin nicht so beträchtlich, als man im ersten Augenblicke anzunehmen geneigt sein dürfte, und einige Schwierigkeit verursacht die Aufgabe, den Gang beider Oefen so in Einklang zu bringen, dass stets gerade im richtigen Augenblicke die erforderliche Menge geschmolzenen Roheisens verfügbar ist. Besser hat sich die besprochene Vorwärmung in Doppelpuddelöfen bewährt.

Die Gesichtspunkte, welche für die Wahl der Roheisensorten in Betracht kommen, sind verschieden. Je gleichartiger, schlackenfreier das darzustellende schmiedbare Eisen und je höher sein Kohlenstoff-

1) Abbildungen des Piétzka-Puddelofens: Ledebur, Gasfeuerungen, Fig. 57 und 58 (Seite 106); Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band XXII, Seite 169; „Stahl und Eisen" 1889, Tafel XV. Der Ofen ist auf dem mährischen Eisenwerke Witkowitz und einigen anderen Werken in Benutzung.

2) Eine Brennstoffersparung würde insofern möglich sein, als die Wärmeausnutzung im Kupolofen günstiger ist als in jedem Flammofen. Vgl. Seite 621.

gehalt sein soll, desto weniger rasch darf die Entkohlung verlaufen. Mit der Zeitdauer des Verfahrens aber wachsen der Brennstoffaufwand, der Abbrand und die Löhne. Gewöhnlich mengt man mehrere Roheisensorten; den Grundbestandtheil der Beschickung pflegt ein weisses, mehr oder minder manganhaltiges Roheisen zu bilden. Für Darstellung von Feinkorneisen[1]) oder Stahl ist die Anwendung eines manganhaltigen Roheisens unerlässlich; der schon bei Besprechung des Frischfeuerbetriebes erwähnte Zweck des Mangans hierbei ist die Verzögerung der Entkohlung und Bildung einer dünnflüssigen, leicht zwischen den Eisenkrystallen ausfliessenden Schlacke. Jene manganreichen Sorten Weissstrahl oder Spiegeleisen bilden für diesen Zweck ein unentbehrliches Material, sei es für sich, sei es als Zusatz zu manganärmerem Roheisen. Wenig vortheilhaft ist im Allgemeinen die Anwendung eines siliciumreichen, also tiefgrauen Roheisens. Der Siliciumgehalt verzögert die Entkohlung, theils an und für sich, indem er vor dem Kohlenstoff verbrennt, theils durch Bildung einer weniger basischen Schlacke, und sein Einfluss unterscheidet sich in letzterer Beziehung wesentlich von dem des Mangangehaltes. Wo man durch örtliche Verhältnisse gezwungen ist, siliciumreiches Roheisen zu verpuddeln, setzt man ihm gern Weisseisen zu. Halbirtes Eisen dagegen mit einem Siliciumgehalte bis zu 1 Hunderttheil pflegt man, zumal wenn es etwas manganhaltig ist, nicht ungern zu benutzen.

Da eine Phosphorabscheidung im Puddelofen zwar möglich ist, das Enderzeugniss aber immerhin von dem ursprünglichen Phosphorgehalte um so reichlichere Mengen zurückhält, je höher dieser war, ist die Anwendung eines phosphorarmen Roheisens nothwendig, wenn das erfolgende schmiedbare Eisen frei von Kaltbruch sein soll. Insbesondere können für Feinkorneisen- und Stahldarstellung nur phosphorarme Roheisensorten Verwendung finden, während man für gewöhnliches billiges Eisen Roheisen mit 1 Hunderttheil Phosphor, mitunter auch noch etwas darüber, benutzt.

Die Höhe des jedesmaligen Einsatzes pflegt beim Arbeiten in einfachen Oefen, wie schon erwähnt wurde, 220—275 kg zu betragen; in Doppelpuddelöfen mit Gasfeuerung, 450—600 kg, mitunter noch etwas mehr. Auch beim Stahlpuddeln in einfachen Oefen ist die Grösse des Einsatzes selten weniger als 220 kg.

Das Roheisen wird auf einer breiten Schaufel durch die Einsatzthür in den Ofen geschoben und hier in der Mitte des Herdes in solcher Weise ausgebreitet, dass es der Flamme möglichst preisgegeben ist. Gewöhnlich ist noch von der Verarbeitung des vorausgegangenen Einsatzes Schlacke im Herde zurückgeblieben; häufig setzt man auch schon beim Einschmelzen des Roheisens Gaarschlacke oder Hammerschlag zu; in anderen Fällen giebt man den Zusatz erst, wenn das Schmelzen beendet ist. Oertliche Gewohnheiten und die Beschaffenheit des zu verarbeitenden Roheisens sind hierfür maassgebend. Es kommt hierbei in Betracht, dass durch den Schlackenzusatz der Ofen abgekühlt

1) Feinkorneisen ist, wie bekannt, die zwischen eigentlichem Stahle und dem kohlenstoffärmsten sehnigen Eisen stehende Eisensorte mit etwa 0,3 Hunderttheilen Kohle, ausgezeichnet durch hohe Festigkeit und geringeren Schlackengehalt als das sehnige Eisen.

wird. Nun schmilzt graues Roheisen, dessen Schmelztemperatur höher liegt, nicht nur langsamer ein als weisses, sondern es wird auch ebendeshalb, ehe es zum Schmelzen gelangt, stärker oxydirt. Ein rasches Einschmelzen in hoher Temperatur ist also wünschenswerth; wird aber aus dem geschmolzenen Roheisen das Silicium oxydirt, so tritt dabei wegen dessen bedeutender Verbrennungswärme (vergl. Seite 48) eine fernere Temperatursteigerung ein, und eine Abkühlung des Ofens ist nothwendig. In diesem Falle also pflegt man den Schlackenzusatz erst zu geben, wenn das Einschmelzen beendet ist. Anders bei siliciumärmerem Weisseisen, welches ohnehin rascher einschmilzt und während des Glühens weniger stark oxydirt wird. Hier setzt man die Schlacke gewöhnlich schon mit dem Roheisen oder vorher ein, und zwar die Schlacke zu unterst, das Eisen darauf.

Auch die Menge der zugesetzten Schlacke ist verschieden und sowohl von der Zusammensetzung des Einsatzes als der Beschaffenheit, welche das Enderzeugniss erhalten soll, abhängig. Beim Sehnepuddeln aus weissem phosphorarmen Roheisen reicht mitunter die im Herde zurückbleibende Schlacke des vorigen Einsatzes allein aus, und nur von Zeit zu Zeit, d. h. nach Verarbeitung mehrerer Einsätze, lässt man sie ab, um sie durch frische, möglichst phosphorfreie Schlacke (Schweissofenschlacke, Hammerschlag) zu ersetzen; verarbeitet man aber phosphorreiches Roheisen, so würde, wenn man die nämliche Schlacke wieder anwenden wollte, diese immer phosphorreicher und infolge davon die Abscheidung des Phosphors aus dem Roheisen immer spärlicher werden. Man lässt also in diesem Falle die phosphorsäurereiche Schlacke ab und setzt Hammerschlag, Schweissofenschlacke oder Eisenerze dafür ein. Der Zusatz pflegt alsdann 25—50 Hunderttheile von dem Gewichte des Roheisens zu betragen.

Wenn das Einsetzen beendet ist, schliesst man die Einsatzthür, stellt vor die Arbeitsthür eine Blechplatte mit einem kleinen Schauloche, durch welches man die Vorgänge auf dem Herde beobachten kann, auf die Thürschwelle aber legt man neben die Fugen der Thür einige Kohlen, welche sich rasch erhitzen und langsam verbrennen, dadurch das Einströmen freien Sauerstoffs in den Ofen verhindernd.

Einstweilen überlässt man nun das Roheisen ohne Weiteres der Erhitzung. Beginnt es zu schmelzen, was in einfachen Oefen ohne Vorwärmung nach 20—25 Minuten der Fall zu sein pflegt, so wird es „aufgestochen“, d. h. mit einer eisernen Brechstange gewendet, so dass die untere, weniger stark erhitzte Seite nach oben zu liegen kommt, wobei man Stücke, die etwa am Boden festsitzen, losbricht und überhaupt dafür sorgt, dass nicht ungeschmolzene Stücke unter der Schlacke zurückbleiben. Im Ganzen pflegt das Einschmelzen eine Zeit von 35—40 Minuten zu beanspruchen, sofern das Roheisen kalt auf den Herd gebracht wurde.

Verarbeitet man weisses manganarmes Eisen, so pflegen schon beim Einschmelzen die ersten Spuren der beginnenden Kohlenstoffverbrennung bemerkbar zu werden. An der Oberfläche der flüssigen Schlacke, welche das Eisen bedeckt hält, zeigen sich Gasbläschen, und das entweichende Gas verbrennt mit blauer Flamme. Bei grauem Roheisen ist dieser Vorgang weniger oder gar nicht bemerkbar; die Oxy-

dation wirft sich auf den Siliciumgehalt, und der Kohlenstoffgehalt bleibt geschützt.

Es folgt nun die Arbeit des Rührens mit dem „Rührhaken“ oder der „Kratze“, einer eisernen, vorn hakenartig umgebogenen Stange von 2,5—3 m Länge. Der Arbeiter schiebt sie durch die Arbeitsöffnung in den Ofen, sie an der Fuchsbrücke einsetzend, so dass der Haken den Boden berührt, und bewegt sie nun abwechselnd vor und rückwärts durch das Eisenbad, radiale Furchen ziehend, deren eine dicht neben der andern liegt, bis er mit dem Haken an der entgegengesetzten Seite des Ofens, der Feuerbrücke, angekommen ist. Alsdann nimmt er denselben Weg unter steter Vor- und Rückwärtsbewegung des Hakens rückwärts u. s. f. Ist der Haken nach einigen Minuten des Rührens hellrothglühend geworden, so wird er gegen einen frischen, den ein zweiter Arbeiter führt, umgetauscht.

Alsbald zeigt sich die Folge der durch das Rühren bewirkten Mischung des Eisens mit der eisenoxydreichen Schlacke. Die Kohlenoxydgasbildung wird stärker, das Bad geräth allmählich in eine kochende Bewegung, die sogenannte Kochperiode des Puddelverfahrens beginnt. Eine allzu hohe Temperatur in diesem Zeitabschnitte würde die Entkohlung verzögern, da sie die Entmischung der beiden auf einander wirkenden Körper, des Eisens und der Schlacke, durch grössere Dünnflüssigkeit befördert; man schliesst also die Essenklappe oder sucht in sonstiger Weise die Temperatur zu ermässigen.

Die Schmelztemperatur des Eisens aber wird höher, je mehr sein Kohlenstoffgehalt abnimmt, und bald zeigen sich daher Eisenkörnchen, welche schaumartig auf der flüssigen Masse schwimmen. Immer stärker wird die Kohlenoxydgasbildung, immer dickflüssiger das Eisen, und das Bad steigt bis zur Höhe der Thürschwelle, wobei gewöhnlich ein Theil der Schlacke über die Schwelle abfliesst. Die Kochperiode hat jetzt ihren Höhepunkt erreicht; seit dem Beginne des Rührens sind etwa 15 Minuten bei gaarfrischendem Roheisen, 20 bis 30 Minuten bei rohfrischendem verflossen.

Dieser Zustand währt mehrere Minuten. Alsdann verräth die veränderte Beschaffenheit des Eisens und der Schlacken deutlich die fortgeschrittene Entkohlung. Mehr und mehr Eisenkörner erscheinen an der Oberfläche; die Arbeit des Rührens wird immer schwieriger, da immer grössere Mengen des entstandenen schmiedbaren, nicht mehr flüssigen Eisens sich der Bewegung des Hakens entgegensetzen. Die Temperatur im Ofen wird gesteigert, um eine vorzeitige Erstarrung des Eisens zu hintertreiben. Die Gasbildung lässt nach, die Schlacke sinkt, und bald sieht man grössere Gruppen zusammengeschweisster Eisenkörner daraus hervorragen.

Die Kochperiode hat nunmehr ihr Ende erreicht, das Rühren mit dem Haken ist nicht mehr möglich und würde auch keinen Zweck haben. Soll Stahl erzeugt werden, so kommt es nunmehr darauf an, das Eisen möglichst gleichmässig auszubreiten und von der Schlacke bedeckt zu halten, damit nicht die Gase auf die herausragenden Theile oxydirend einwirken; arbeitet man auf sehniges Eisen, so folgt die sogenannte Gaarfrischperiode, während welcher unter der Einwirkung der Gase wie der Schlacke eine fortgesetzte Entkohlung stattfindet.

Zunächst kommt es zur Erlangung eines gleichmässig entkohlten Eisens darauf an, zu verhüten, dass einzelne Theile stärker, andere weniger stark von der Oxydationswirkung betroffen werden. Mit Hülfe einer Brechstange (der Spitze) und der schon benutzten Kratzen arbeitet man also unausgesetzt die Eisenhaufen um, so dass das unter der Schlacke befindliche Eisen zu oberst, die oberen Theile nach unten kommen, zertheilt grössere Anhäufungen, damit nicht die inneren Theile roh, d. h. kohlenstoffreich, bleiben, kratzt das in den Ecken befindliche Eisen los und bringt es in die Mitte. Während dieses Durcharbeitens aber sucht man das Eisen schon in einzelnen Haufen abzutheilen, deren jeder das ungefähre Gewicht einer Luppe erhält, und schiebt schliesslich diese noch locker auf einander liegenden Haufen nach der Fuchsbrücke hinüber. Diese Arbeit heisst Umsetzen. Gewöhnlich verarbeitet man den ganzen Einsatz zu 5—6 Luppen, so dass also jeder Haufen etwa 40 kg Eisen enthält.

Arbeitet man auf Stahl, so verläuft die Arbeit des Umsetzens rascher und das Eisen (der Stahl) wird von Schlacke bedeckt gehalten.

Nun folgt das Luppenmachen. Mit der Brechstange drückt man die einzelnen Haufen zusammen, so dass die Eisenkörnchen zusammenschweissen und möglichst viel Schlacke herausfliesst, formt sie, so gut es gehen will, zu Kugeln und rollt diese auf der Herdsohle hin und her, um die hier noch zerstreut liegenden Eisenkörnchen anzuschweissen. Ist eine Luppe in dieser Weise geformt, so rollt man sie hinüber zur Feuerbrücke und setzt sie hier, während man mit der Formung einer neuen beginnt, einer starken Hitze aus, um das Ausfliessen der Schlacke zu befördern.

Ist alles Eisen in dieser Weise verarbeitet, so schliesst man auf kurze Zeit die Arbeitsthür durch ein vorgesetztes Blech, um möglichst hohe Temperatur im Ofen zu erlangen, welche das spätere Ausquetschen der Schlacke erleichtert; dann beginnt das Zängen.

Ein aus Eisenstäben hergestellter zweirädriger Karren wird bis vor die Thürschwelle geschoben, die Einsatzthür wird geöffnet, und mit einer Zange wird die zuerst gefertigte Luppe herausgeholt, um dann rasch nach der Zängevorrichtung (Hammer, Luppenquetsche) gefahren zu werden. Hier packt sie der bereit stehende Arbeiter und formt sie allmählich zu einem prismatisch vierseitigen Blocke mit abgestumpften Kanten. Im Anfange des Zängens giebt man nur schwache Schläge oder schwachen Druck, um einer Zertrümmerung vorzubeugen; reichliche Schlackenmengen fliessen aus und das Eisen schweisst mehr und mehr zusammen. Schliesslich lässt man den vollen Druck oder den vollen Schlag des Hammers auf den Block wirken.

Das Verhalten der Luppe beim Zängen giebt schon ein Merkmal für die Beschaffenheit. Ein gleichmässig entkohltes Eisen schweisst mit Leichtigkeit zusammen. Zeigen sich an einzelnen Stellen blaue Flämmchen, so deutet diese Erscheinung auf noch rohe Stellen; das Eisen schweisst hier schlecht, und die Luppe muss mit grösserer Vorsicht behandelt werden; sehr rohe Luppen fallen mitunter in Stücken aus einander und müssen auf's neue in den Ofen zurückgebracht werden, obgleich auch hierdurch eine gründliche Verbesserung nicht mehr zu erreichen ist.

Während des Zängens der ersten Luppe wird die zweite herbeigeholt u. s. f. Inzwischen aber ist das in der Nähe der Zängevorrichtung aufgestellte Luppen- oder Rohschienenwalzwerk angelassen, die Arbeiter zu dessen Bedienung haben ihre Plätze eingenommen, und die noch glühende Luppe wird rasch zum Walzwerk hingeschleift, um hier sofort zu Rohschienen ausgewalzt zu werden.

Die Einrichtung eines Luppenwalzwerkes ist aus Fig. 195 auf Seite 736 ersichtlich. Statt des Zweiwalzwerkes sind in den letzten Jahrzehnten vielfach Dreiwalzwerke zur Anwendung gebracht worden. Es pflegt zwei Walzgerüste zu enthalten, das eine zum Vorwalzen in Spitzbogenkalibern, das andere mit geschlossenen Flachkalibern. Zur Bedienung sind vier bis fünf Mann erforderlich.

Das Zängen und Rohschienenwalzen geht nun ununterbrochen fort, bis alle Luppen aus dem Ofen herausgeholt und in Rohschienen umgewandelt sind. Die letzteren, gewöhnlich Flacheisenstäbe, werden, sobald sie die Walzen verlassen haben, auf eine gusseiserne Richtplatte gezogen, hier mit hölzernen Hämmern gerichtet und der Erkaltung überlassen. Sie haben ein rissiges, unganzes Aeussere, sind reichlich von Schlacke durchsetzt und bilden das Material für die weitere Verarbeitung, gewöhnlich durch Schweissen und Auswalzen, zu Handelswaare (vergl. unten Verarbeitung des Schweisseisens), mitunter durch Schmelzen zu Flusseisen. Zunächst jedoch werden sie gewogen, dann gewöhnlich unter einer Presse durchgebrochen, so dass die Bruchfläche erkennbar wird, und dem Aussehen dieser Bruchfläche zufolge (ob sehnig, feinkörnig, grobkörnig oder ungleichartig) gesondert.

Wenn der Puddelofen entleert ist, wird der Herd nachgesehen und nöthigenfalls ausgebessert, der Rost gereinigt und zu einem neuen Einsatze geschritten.

Nicht selten ist man beim Puddeln bemüht gewesen, durch fremde Zuschläge (neben der Schlacke) theils die Entkohlung zu beschleunigen, hauptsächlich aber die Abscheidung des Phosphors und daneben auch des Schwefels zu befördern.

Viele der in dieser Beziehung gemachten und auch theilweise versuchsweise angewendeten Vorschläge verrathen von vornherein eine solche Unkenntniss des metallurgischen Verhaltens des Eisens, dass sie mit Stillschweigen übergangen werden können [1]); andere können unleugbar in gewissem Maasse die Abscheidung von Phosphor und Schwefel erleichtern.

Die Wirkung dieser Mittel erstreckt sich in zweierlei Richtung. Die einen wirken oxydirend, d. h. sie geben bei starker Erhitzung leicht einen Theil ihres Sauerstoffs ab; die anderen — und diese Mittel sind gerade diejenigen, deren Wirkung sich am vortheilhaftesten bewährte — erhöhen gleichzeitig die basische Beschaffenheit der Schlacken und erniedrigen ihre Schmelztemperatur. Es ist bekannt, dass Phosphor und Schwefel leichter von basischen als von sauren Schlacken aufgenommen werden (ersterer als Phosphat, letzterer als Schwefelmetall), und dass auch schon die Anwesenheit einer eisenreichen Schlacke allein

1) Eine ausführliche Zusammenstellung der in dieser Beziehung gemachten, oft lächerlich ungeeigneten, oft rein empirischen Vorschläge enthält Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 257—286.

ausreicht, einen Theil des Phosphors zu verschlacken, sofern die Temperatur nicht allzu hoch ist; mit dem Eisengehalte aber steigt die Schmelztemperatur der Schlacke, und sie wird schliesslich so dickflüssig, dass sie die Erzielung eines brauchbaren Eisens erschwert. Durch den Hinzutritt anderer Basen, insbesondere Manganoxydul oder Alkalien, lässt sich dieser Uebelstand abmindern, und die genannten Körper gewähren obenein den Vortheil, als kräftigere Basen zu wirken.

Gewisse Verbindungen, welche mehrfach angewendet worden sind, erstrecken ihre Wirksamkeit gleichzeitig in beiden erwähnten Richtungen — als Oxydationsmittel und als Basenbildner; hierher gehören Braunstein und Salpeter.

Häufig hat man Chloride oder Fluoride zur Anwendung gebracht: Kochsalz oder dessen Gemisch mit Chlorcalcium (Scheerer'sches Pulver), auch Stassfurter Kalisalze oder Flussspath. Die in früherer Zeit vielfach gehegte Ansicht, dass durch den Chlor- oder Fluorgehalt dieser Körper Phosphor verflüchtigt werde, hat sich zwar nicht bestätigt, da sich der ganze Phosphorgehalt in der Schlacke wiederfindet; eine gewisse Wirksamkeit ist indess jenen Verbindungen nicht abzusprechen, indem sie die Bildung basischer und doch leichtflüssiger Schlacken befördern. Flussspath, dessen Einfluss auf die Schmelztemperatur der Schlacken auf Seite 186 erwähnt wurde, bildete im Laufe der siebziger Jahre ein nicht selten benutztes Zusatzmittel beim Verpuddeln phosphorreichen Eisens.

Einen ungefähren Maassstab für die Wirkung solcher Zusätze erhält man durch einen Vergleich folgender Analysen von Eisen und Schlacke, theils mit, theils ohne Zuschlag unter übrigens ganz gleichen Verhältnissen im Puddelofen erzeugt.[1]) Als Material diente ein weisses, etwas manganhaltiges, sehr phosphorreiches Roheisen. Als Zuschlag wurde ein Gemisch von Flussspath mit Braunstein, Chlornatrium und Chlorkalium gegeben. Es enthielten:

a) das Eisen:

	ohne Zuschlag gepuddelt Phosphor	mit Zuschlag gepuddelt Phosphor
Roheisen	1,95 Hunderttheile	2,11 Huntertheile
Rohschienen	0,78 „	0,55 „
fertiges Walzeisen . .	0,61 „	0,41 „

b) die Schlacken (am Ende des Verfahrens dem Ofen entnommen):

ohne Zuschlag gepuddelt			mit Zuschlag gepuddelt		
FeO	60,18	Fe = 54,72	FeO	53,04	Fe = 46,81
Fe_2O_3 . . .	11,31		Fe_2O_3 . . .	7,94	
MnO	5,14		MnO	11,22	
MgO	0,00		MgO	1,92	
CaO	0,00		CaO	1,06	
P_2O_5	16,05		P_2O_5	17,42	
SiO_2	6,10		SiO_2	5,86	
S	0,57		S	0,56	
Mn	0,98		Ca	0,70	
Alkalien . .	0,00		Alkalien . .	n. best.	
	100,33			99,72	

1) Die Analysen wurden von mir im Jahre 1876 für ein befreundetes Eisenwerk angestellt, welches sich von der Wirkungsweise der Zuschläge überzeugen wollte.

Die Zusammensetzung der mit Zuschlag gebildeten Schlacke lässt schliessen, dass die zugesetzten Chloralkalien fast vollständig verflüchtigt wurden und die Wirkung fast nur durch den Braunsteinzusatz erzielt wurde.

In der Jetztzeit macht man nur noch selten Anwendung von solchen Zuschlägen. Sehr phosphorreiches Roheisen lässt sich vortheilhafter für Flusseisendarstellung auf basischem Herde verwenden und wird deshalb für das Puddeln nicht mehr benutzt; phosphorärmeres liefert auch ohne andere Zusätze als Schlacke ein ausreichend brauchbares Erzeugniss.

d) Die Puddelmaschinen.

Je mehr in anderen Zweigen der Gewerbthätigkeit die Anwendung von Maschinen zum Ersatze menschlicher Arbeit sich einbürgerte, desto näher musste den Eisenhüttenleuten der Gedanke gelegt werden, auch beim Puddelbetriebe die so mühselige Arbeit des Rührens, wenn möglich auch des Umsetzens, durch Maschinenarbeit ausführen zu lassen.

Der erste, welcher diesen Gedanken verwirklichte, war Professor Schafhäutl in München. Er baute im Jahre 1836 eine Puddelmaschine, welche nicht allein die Arbeit des Rührens besorgen, sondern auch bei dem späteren Umsetzen mitwirken sollte, und brachte sie auf einem englischen Eisenwerke zur Anwendung.[1]) Die Maschine erforderte eine eigene Dampfmaschine und einen Ofen mit grossem Fassungsraume; ihre Anlage war jedenfalls kostspielig, und die gehegten Erwartungen wurden nicht erfüllt.

Eine ziemlich grosse Zahl später gebauter Puddelmaschinen hat dagegen nur die Bestimmung, das immerhin beschwerliche Rühren mit der Kratze auszuführen, während die späteren Arbeiten vollständig dem Arbeiter überlassen bleiben; die meisten dieser Maschinen werden, statt durch eine eigene Dampfmaschine, von einer für mehrere Oefen gemeinschaftlichen Triebwelle aus bewegt. Dadurch wird ihre Anordnung einfacher, billiger und für die Benutzung geeigneter.

Zur besseren Ausnutzung der Maschinen pflegt man sie für Doppelpuddelöfen (mit etwa 500 kg Einsatz) in Anwendung zu bringen, in welchen dann von beiden Seiten her wie beim Handpuddeln gerührt wird. Die Einrichtung der Oefen zeigt keine erhebliche Abweichung gegenüber der Einrichtung beim Handpuddeln.

Als ein Beispiel, in welcher Weise die Aufgabe gelöst werden kann, die Bewegung des Rührhakens in der nämlichen Weise, wie durch die Hand des Arbeiters, durch Maschinenarbeit bewirken zu lassen, möge die Beschreibung einer von Dumény und Lemut gebauten Puddelmaschine hier Platz finden, welche auf einigen französischen und lothringenschen Werken in Anwendung war und vielleicht hier oder da noch jetzt benutzt wird. Die Skizzen Fig. 252—254 auf S. 824 können als Erläuterung dabei dienen.

k und k_1 sind die beiden Rührhaken, welche wie gewöhnlich durch die Arbeitsthür hindurchgehen und mit den hinteren Enden aus dem

1) Bayrisches Kunst- und Gewerbeblatt 1867, Seite 132; Dinglers polyt. Journal, Band CLXXXV, Seite 242.

Ofen herausragen. Mit Hülfe je eines leicht lösbaren Kugelgelenkes sind sie an die Stangen $h h_1$ angeschlossen, welche mit ihren oberen Enden an dem Gebälk aufgehängt sind, so dass sie leicht in jeder Richtung schwingen können. In einer gewissen Höhe sind diese Stangen an die Schubstangen $l l_1$ angeschlossen, deren gegenüber liegende Enden mit der Warze der Kurbelscheibe b verbunden sind und somit eine hin- und hergehende Bewegung auf die Stangen $h h_1$ wie auf die beiden

Fig. 252.

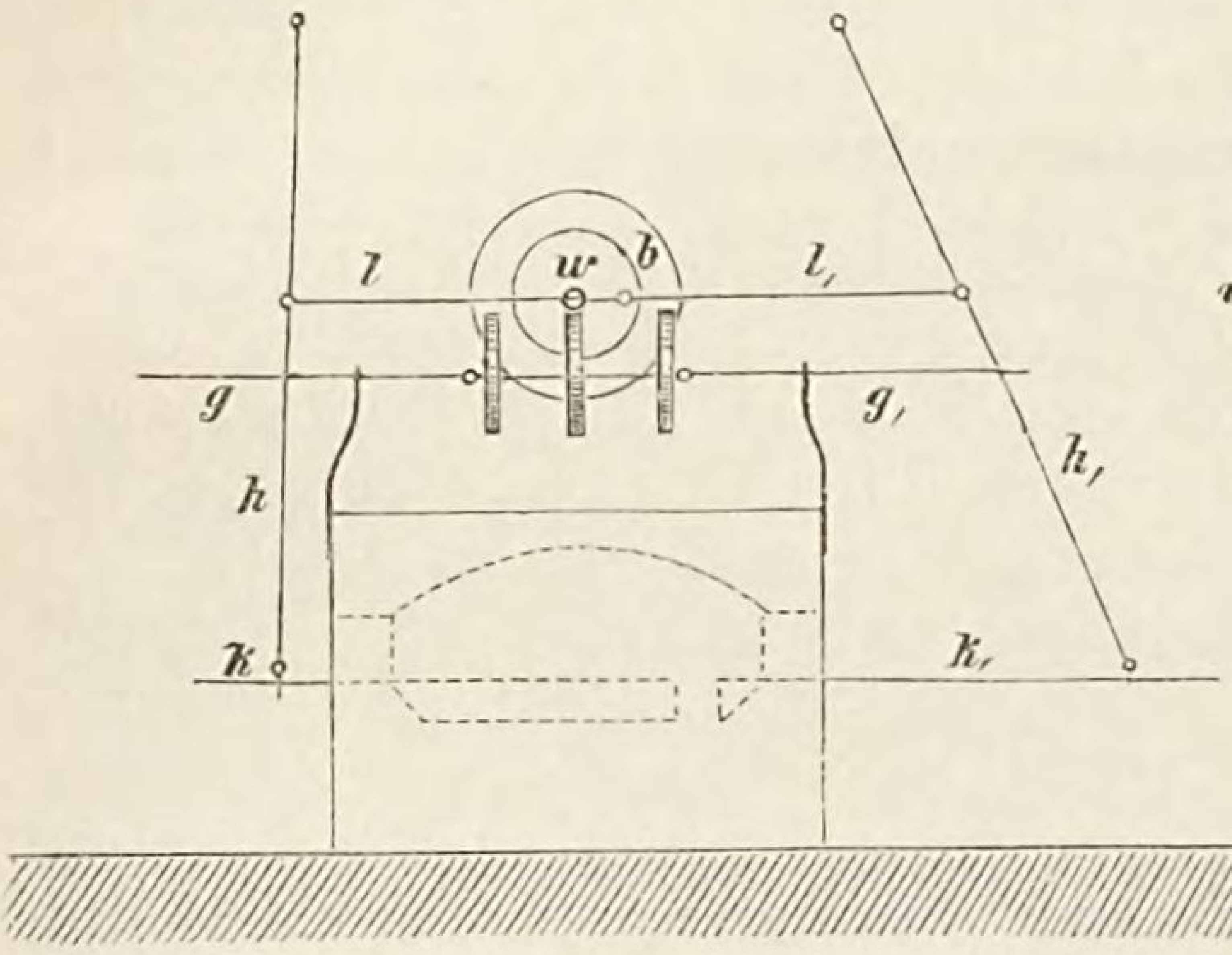
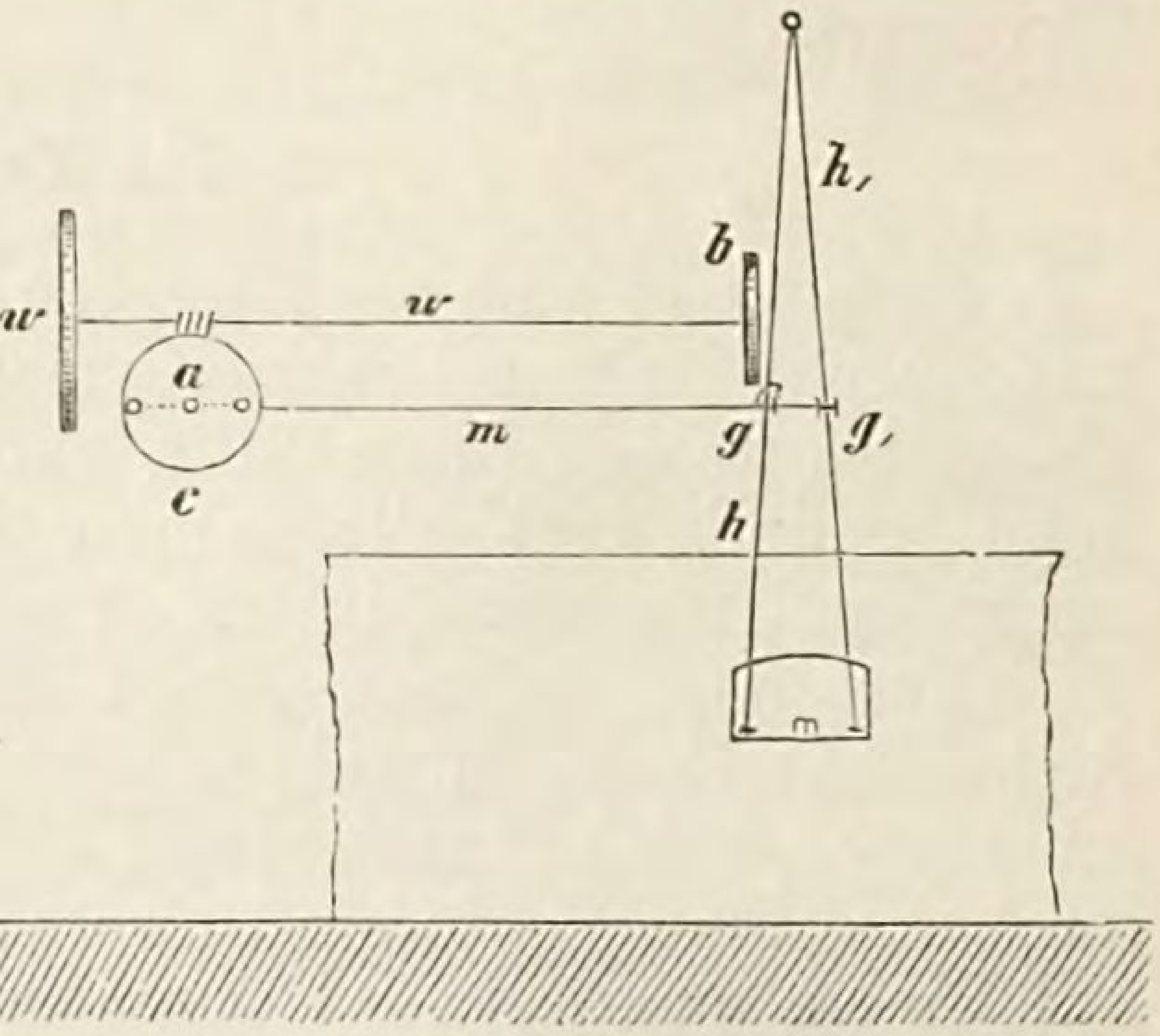
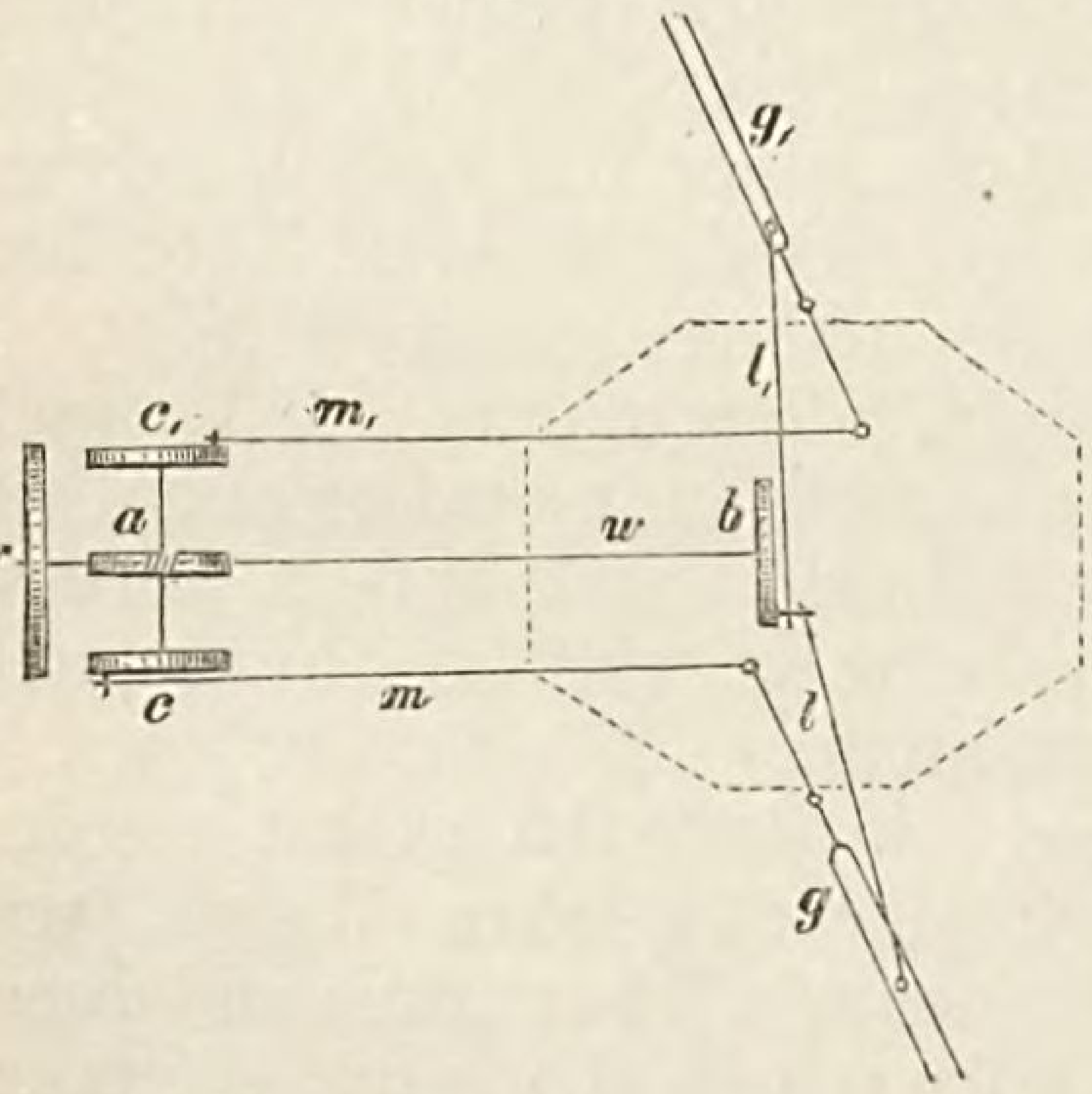


Fig. 253.



Rührhaken übertragen. Die Kurbelscheibe b empfängt ihre Bewegung durch die Welle w von einer auf deren Ende befindlichen Riemenscheibe aus. Zur Lösung der Aufgabe nun, dass die beiden Rührhaken ausser der Vor- und Rückwärtsbewegung auch eine allmähliche Seitenbewegung ausführen und somit nach und nach, wie bei der Handarbeit, den ganzen Herd bearbeiten, ist folgende Einrichtung getroffen.

Fig. 254.



Von der Welle w aus wird vermittelst einer Schnecke das Schneckenrad a in ganz langsame Drehung versetzt, und durch die Welle dieses Schneckenrades wird diese Drehung auf die zwei Kurbelscheiben $c c_1$ übertragen. Von hier aus werden durch Vermittelung der beiden Lenkstangen $m m_1$ die doppelarmigen Hebel $g g_1$ hin und her bewegt, welche mit ihren gegabelten Enden die senkrechten Stangen $h h_1$, an welchen die Rührstangen befestigt sind, umfassen und somit auch jenen eine sehr langsam hin- und hergehende Bewegung (rechtwinklig gegen die Hauptbewegung der Rührhaken) ertheilen. Da nun die Rührhaken innerhalb der schmalen Arbeitsthüren geführt sind, hier also gewissermaassen ihren Drehungspunkt haben, wenn ihre Enden bewegt werden, müssen sie jede neue Vor- und Rückwärtsbewegung in etwas anderer Richtung als die vorausgegangene ausführen; sie müssen, mit anderen Worten,

ebenso wie bei der Handarbeit radiale Furchen durch das Metallbad ziehen, deren jede neben der vorausgegangenen liegt.

Damit diese Seitenbewegung möglich sei, müssen die Schubstangen ll_1 in solcher Weise an die Kurbelwarze der Scheibe *b* (Fig. 254) angeschlossen sein, dass auch sie in wagerechter Ebene die erforderliche Beweglichkeit besitzen.

Hinsichtlich sonstiger Formen von Puddelmaschinen muss auf die gegebene Literatur verwiesen werden.

Erfahrungsgemäss liegt der Hauptvortheil bei Anwendung von Puddelmaschinen weniger in einer Ersparung an Arbeitslöhnen als vielmehr in einer Erleichterung der allerdings beschwerlichen Arbeit des Puddelns, wodurch es den Eisenwerken dann auch leichter gemacht ist, die genügende Arbeiterzahl für einen ausgedehnten Betrieb zu gewinnen. Von der natürlichen Veranlagung der Arbeiter selbst wie von dem Angebote an Arbeitskräften in einer bestimmten Gegend hängt es demnach vorwiegend ab, ob die Benutzung der Puddelmaschinen vortheilhaft sei oder nicht. Im Ganzen ist ihre Anwendung vereinzelt geblieben; nicht selten sind sie wieder beseitigt worden, wo sie zuvor eingeführt worden waren. Ihre Anlage- und Unterhaltungskosten entsprachen nicht dem erzielten Nutzen.

e) Der chemische Verlauf des Puddelns.

Die Vorgänge im Puddelofen sind den früher geschilderten Vorgängen im Frischfeuer ähnlich. Während im Frischfeuer das schmelzende Roheisen zunächst durch den Sauerstoff des Gebläsewindes beeinflusst wird, ist das Roheisen im Puddelofen dem vorüberziehenden Strome der Verbrennungsgase preisgegeben, welcher neben Stickstoff Kohlensäure, Wasserdampf und freien Sauerstoff, also eine reichliche Menge oxydirend wirkender Körper, enthält.[1]) In beiden Fällen wird zunächst metallisches Eisen, welches in reichlichem Ueberschusse zugegen ist, oxydirt (Seite 257); daneben verbrennen Silicium und Mangan. Nur unter reichlichem Eisenverluste und sehr langsam würde jedoch die Umwandlung in schmiedbares Eisen stattfinden, wenn man die Ausscheidung der Fremdkörper allein durch jenen gasförmigen Sauerstoff bewirken lassen wollte. Ein weit geeigneteres Oxydationsmittel sind eisenoxydhaltige Körper, und man benutzt hierfür, wie schon erwähnt wurde, vorwiegend eisenoxyduloxydhaltige Schlacken. Durch die Mischung der flüssigen Schlacke mit dem Eisen wird die Einwirkung befördert; nicht zu unterschätzen ist der fernere Umstand, dass durch die Schlacke zwar Silicium, Mangan, Kohlenstoff, auch zum grossen Theil Phosphor, nicht aber das metallische Eisen, wie durch gasförmigen Sauerstoff, verbrannt wird.

In einem Puddelofen, dessen Herd aus Eisenplatten besteht, würde eine solche Schlacke schon von selbst allmählich entstehen; der Eisen-

1) Fischer fand in den Gasen der Puddelöfen 11 bis 16 Hunderttheile Kohlensäure, 2,5 bis 12 Hunderttheile freien Sauerstoff, etwa 80 Hunderttheile Stickstoff. Der Wasserdampfgehalt wurde nicht bestimmt. Dinglers polyt. Journal, Band CCXXXVIII, Seite 420.

verlust aber lässt offenbar sich verringern, wenn man von vornherein, wie oben beschrieben wurde, eine geeignete Schlacke zusetzt.

Eine stark basische Schlacke würde auf Silicium, Phosphor, Kohlenstoff am kräftigsten oxydirend einwirken (Seite 258); ihre Schmelztemperatur aber liegt hoch, und aus dem fertigen Eisen würde eine zu strengflüssige Schlacke sich nur ungenügend entfernen lassen. Die Entstehung faulbrüchigen Eisens würde die Folge sein (Seite 649). Ein mässiger Kieselsäuregehalt der Schlacke ist daher nothwendig; verpuddelt man siliciumhaltiges Roheisen, so wird schon durch die Siliciumverbrennung der nöthige Kieselsäuregehalt zugeführt. Ist er zu beträchtlich, so verliert die Schlacke ihre oxydirende Kraft; man lässt sie alsdann theilweise ab und setzt Hammerschlag zu.

Von der ursprünglichen Zusammensetzung des Roheisens, von der Menge und Zusammensetzung der zugesetzten Schlacke, von der Temperatur im Ofen hängt der Verlauf des Frischens in jedem einzelnen Falle ab. Zahlreichere Untersuchungen als beim Frischfeuerbetriebe sind hierüber angestellt worden. Einige Beispiele mögen zur näheren Beleuchtung jener Einflüsse dienen.

1. Darstellung von gewöhnlichem kohlenstoffarmem (also sehnigem) Schweisseisen aus halbirtem, mässig gaarfrischendem Roheisen auf einem englischen Eisenwerke. Puddelofen mit Unterwind. Der Herd wurde vor dem Einsetzen des Roheisens mit etwa 50 kg Hammerschlag besetzt, worauf alsdann als Roheisen (200 kg) eingebracht wurde. Analysen von H. Louis[1]):

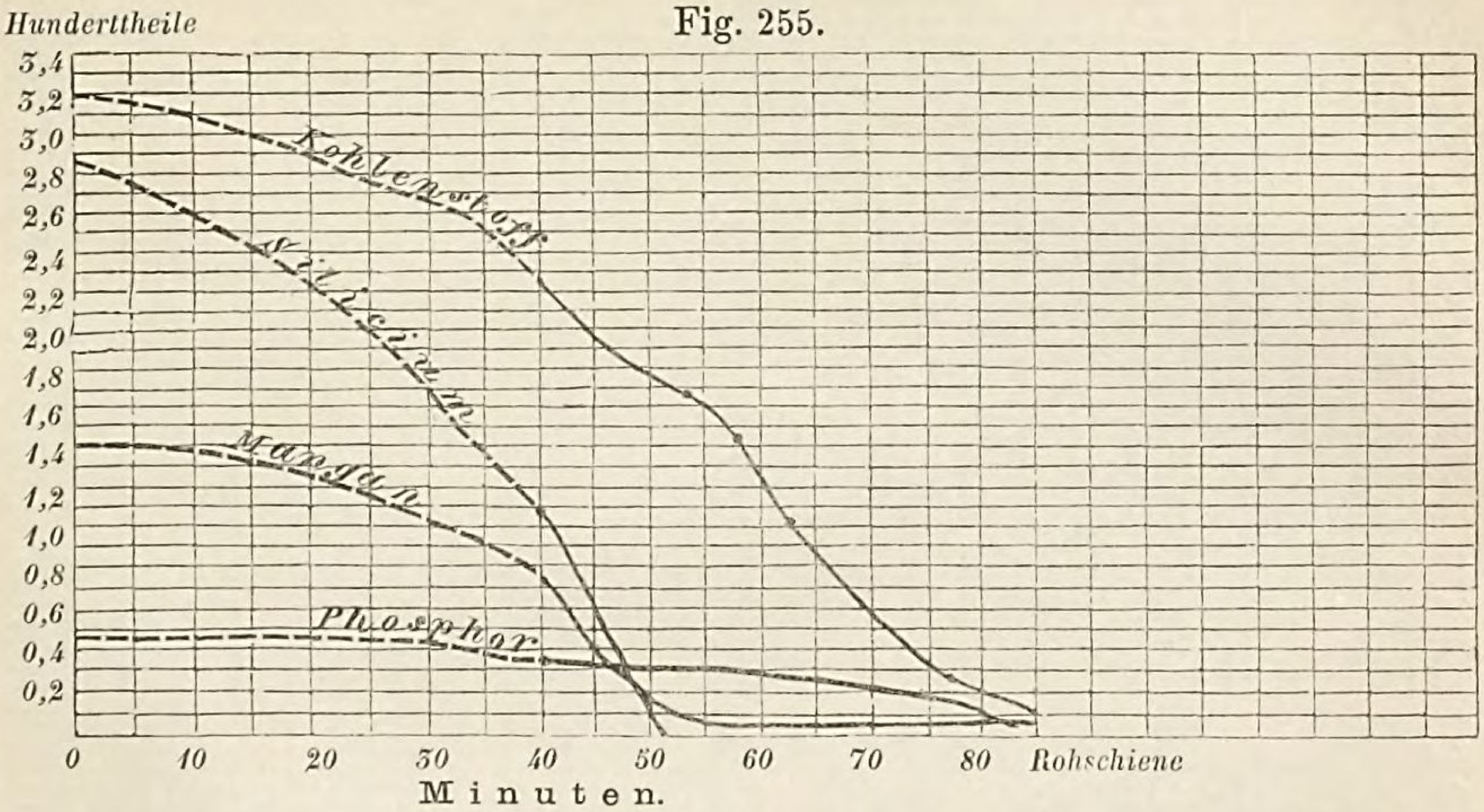
	C	Si	Mn	P
Roheisen vor dem Einschmelzen	nicht untersucht			
Nach Beendigung des Einschmelzens; 40 Minuten nach dem Einsetzen	2,36	1,11	0,78	0,36
Während des Kochens; 48 Minuten nach dem Einsetzen	1,89	0,14	n. best.	0,25
Während der Höhe der Kochperiode; 53 Minuten nach dem Einsetzen	1,75	0,00	0,09	0,26
Beim Nachlassen des Kochens; beginnende Ausscheidung der Eisenkörner; 58 Minuten nach dem Einsetzen	1,57	0,00	n. best.	0,23
Beim Beginn des Umsetzens; 62 Minuten nach dem Einsetzen	1,10	0,00	„	0,23
Beim Beginn des Luppenmachens; 78 Minuten nach dem Einsetzen	0,25	0,00	„	0,25
Rohschiene	0,16	0,00	0,09	0,09

Die Analysen zeigen eine rasche Abnahme des Siliciums, eine allmähliche und ziemlich gleichmässige Abnahme des Kohlenstoffs, während Phosphor vorzugsweise im Anfange und dann während des Luppenmachens austritt. Es lässt sich jedoch mit Sicherheit annehmen, dass hier — wie bei allen ähnlichen Untersuchungen — der in den vorletzten Proben gefundene Phosphor zum Theile von der eingemengten Schlacke herrührt; dass diese Schlackenmenge nicht gering war, ergiebt sich aus der Menge der zugleich in den Proben gefundenen Kieselsäure, welche z. B. in der beim Beginne des Umsetzens genommenen Probe 1,37 Hunderttheile betrug.

1) The Journal of the Iron and Steel Institute 1879, p. 219.

Eine Darstellung des Verlaufes dieser Umwandlungen in Schaulinien, wobei auch die muthmaassliche Zusammensetzung des Roheisens eingefügt ist, zeigt Fig. 255.

Fig. 255.



2. Darstellung von Feinkorneisen aus silicium- und manganreichem, rohfrischendem Roheisen in einem gewöhnlichen Steinkohlen-Puddelofen auf einem oberschlesischen Eisenwerke. Schlackenzusatz wurde erst nach dem Einschmelzen des Roheisens gegeben. Analysen von J. Kollmann[1]):

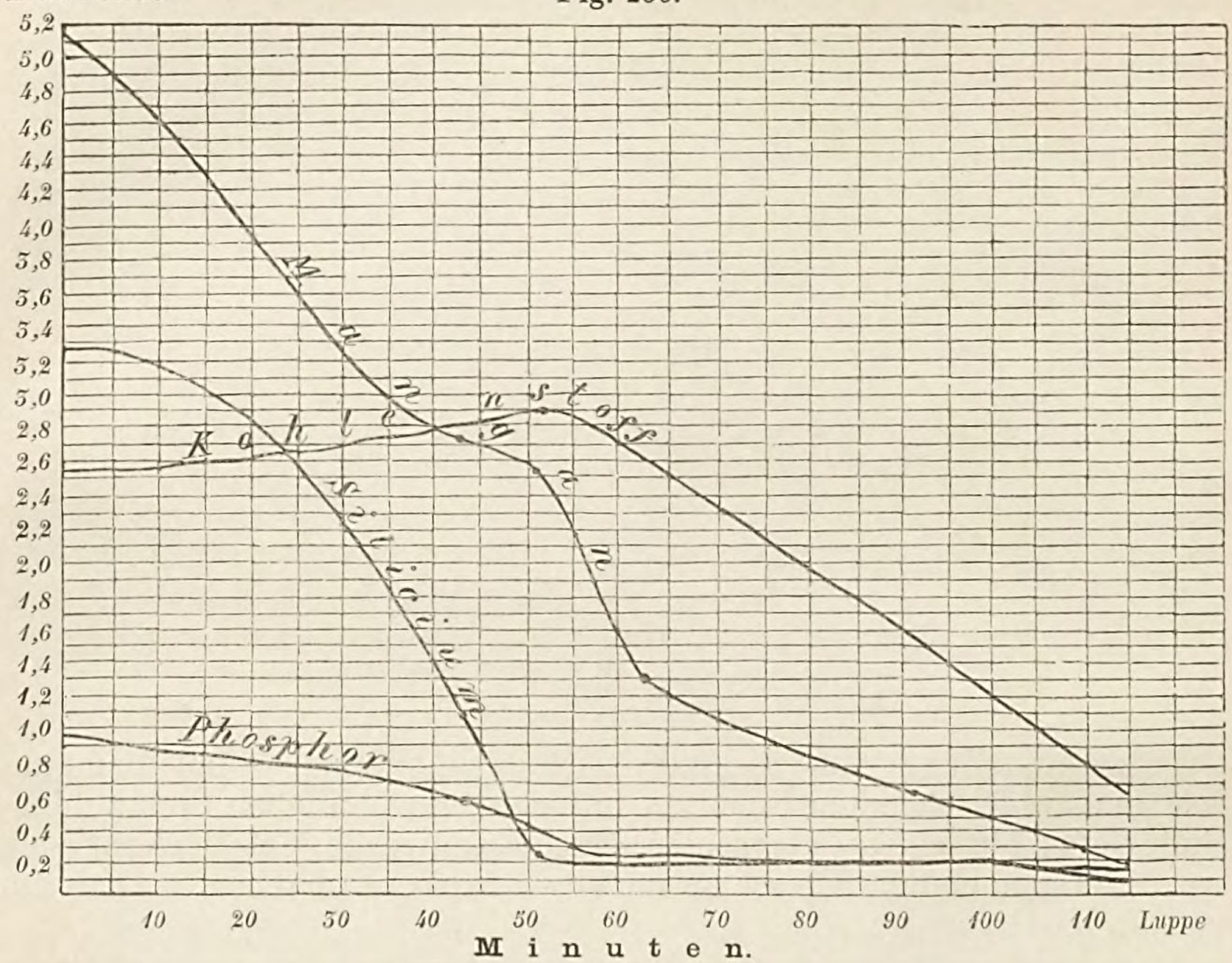
	C	Si	Mn	S	P
Roheisen vor dem Schmelzen	2,57	3,21	5,14	0,040	0,97
Nach Beendigung des Einschmelzens; 43 Minuten nach dem Einsetzen	2,80	1,09	2,68	0,016	0,58
Beim Beginn des Kochens; 52 Minuten nach dem Einsetzen	2,89	0,23	2,53	0,013	0,56
Während des Kochens; 55 Minuten nach dem Einsetzen	2,78	0,21	2,20	0,012	0,30
Beim Beginn des Umsetzens während heftigen Kochens; 62 Minuten nach dem Einsetzen .	2,63	0,22	1,31	0,012	0,25
Während des Umsetzens; 91 Minuten nach dem Einsetzen	1,65	0,23	0,65	0,012	0,21
Beim Beginn des Luppenmachens; 96 Minuten nach dem Einsetzen	1,38	0,21	0,32	0,011	0,18
Luppe; 109 Minuten nach dem Einsetzen . . .	0,86	0,11	0,28	0,010	0,17
Rohschiene	0,63	0,09	0,15	0,009	0,12

Die Analysenreihe ist kennzeichnend für den Verlauf des Verfahrens bei Verarbeitung von sehr siliciumreichem und zugleich manganhaltigem, also stark rohfrischendem Roheisen. Silicium und Mangan treten rasch aus, die Gesammtmenge des Eisens nimmt infolge davon ab, und der Gehalt an Kohlenstoff wächst, bis schliesslich auch dessen Verbrennung beginnt.

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 326.

Fig. 256 zeigt die Schaulinien des Verlaufes.

Fig. 256.



3. Darstellung von Stahl aus einem silicium- und manganhaltigen, mässig rohfrischenden Roheisen in einem (jetzt nicht mehr vorhandenen) Holzgaspuddelofen auf dem Eisenwerke zu Zorge. Analysen von A. Schilling[1]):

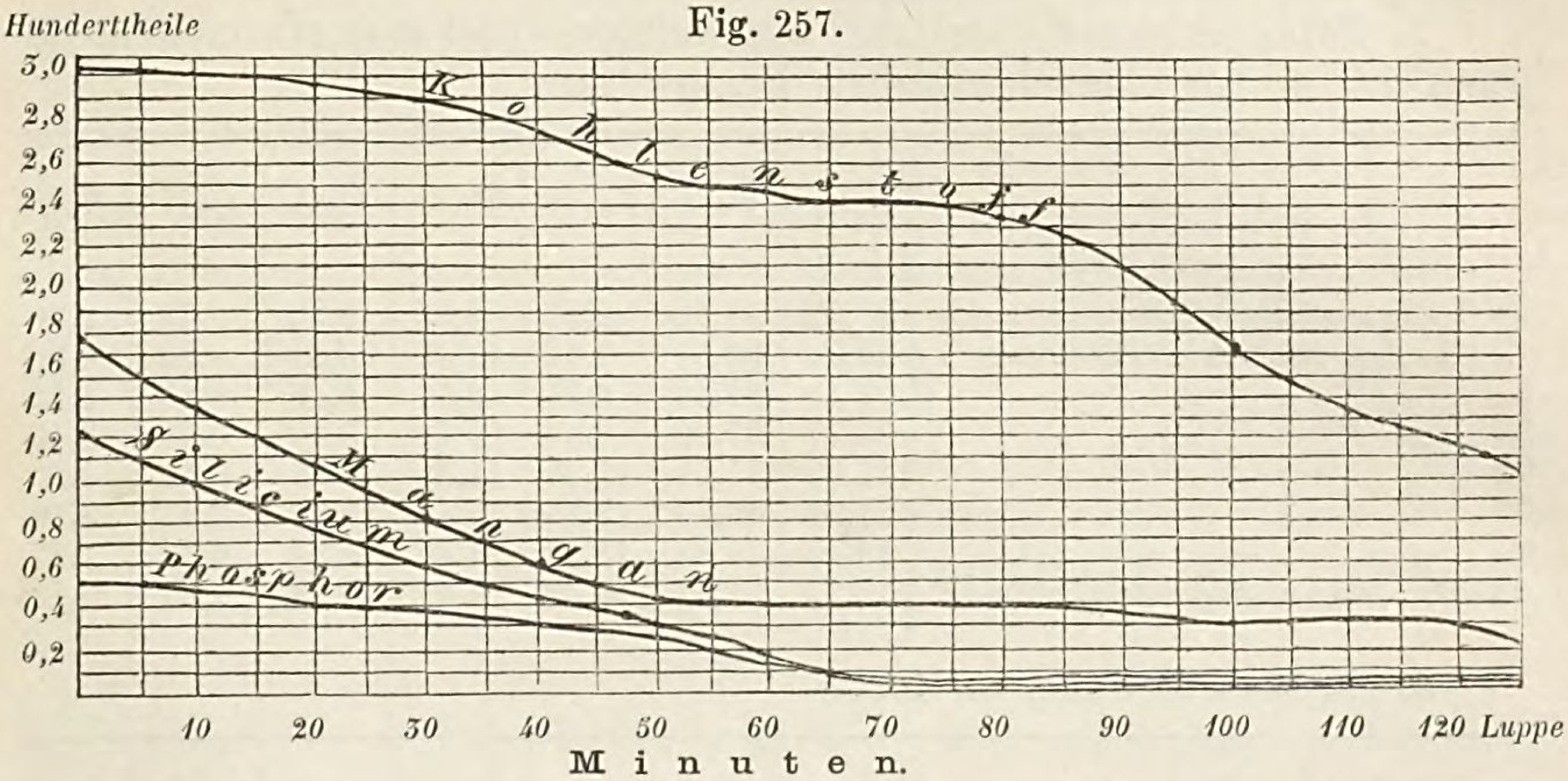
	C	Si	Mn	S	P
Roheisen	2,92	1,24	1,66	0,098	0,47
Nach dem Einschmelzen; 47 Minuten nach dem Einsetzen	2,49	0,34	0,47	0,030	0,24
Bei Beginn des Kochens; 66 Minuten nach dem Einsetzen	2,36	0,16	0,47	0,027	0,17
Während des Kochens; 80½ Minute nach dem Einsetzen	2,26	0,11	0,47	0,012	0,11
Während der Höhe der Kochperiode; 98 Minuten nach dem Einsetzen	1,77	0,11	0,31	Sp.	0,08
Während des Umsetzens; 113 Minuten nach dem Einsetzen	1,33	0,11	0,31	„	0,07
Während des Luppenmachens; 122 Minuten nach dem Einsetzen	1,08	0,11	0,27	„	0,07
Luppe	0,94	0,11	0,27	„	0,07

Das hier verwendete Roheisen war nicht so silicium- und manganreich als das des vorigen Beispieles, die Temperatur im Gaspuddelofen

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1863, Seite 313.

muthmaasslich höher als in jenem Ofen mit Rostfeuerung; daher verbrennt hier schon Kohlenstoff beim Einschmelzen neben Mangan und Silicium. Fig. 257 zeigt den Verlauf des Frischens in diesem Falle.

Fig. 257.



In allen den besprochenen Fällen wurden auch die Schlacken aus den verschiedenen Zeitabschnitten des Verfahrens der Untersuchung unterworfen. Obgleich nun allerdings die Zusammensetzung der Schlacken theilweise von Nebenumständen (Einwerfen fremder Schlacke u. s. w.) abhängig ist, zeigen doch im Grossen und Ganzen die während des Verlaufes des Frischens eintretenden Aenderungen der Zusammensetzung eine gewisse Regelmässigkeit. Der Kieselsäuregehalt steigt unmittelbar nach dem Einschmelzen wegen der stattfindenden Verbrennung von Silicium, bleibt dann während des Frischens annähernd unverändert, um zuletzt, wo noch grössere Mengen Eisen zu verbrennen pflegen, wieder abzunehmen; der Eisenoxydgehalt (Fe_2O_3) nimmt regelmässig beim Beginne des Frischens ab, um erst am Schlusse wieder auf den ursprünglichen Stand zurückzukehren. Dieser Umstand beweist deutlich, dass, wie schon früher hervorgehoben wurde, gerade das Eisenoxyd im Puddelofen als kräftiges Oxydationsmittel auf Kohle, Silicium, Phosphor, Mangan einwirkt.

Als Beispiele mögen die zu den oben mitgetheilten Roheisenanalysen zugehörigen Schlackenanalysen folgen.

1. Schneeisendarstellung auf einem englischen Eisenwerke.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	P_2O_5
Zugesetzter Hammerschlag	14,69	1,51	15,07	63,92	3,18	1,60
Puddelofenschlacke; 40 Minuten nach dem Einsetzen des Roheisens	24,04	0,19	18,74	51,22	4,42	1,30
desgl. 48 Minuten nach dem Einsetzen .	27,17	n. best.	5,28	59,56	5,17	2,12
desgl. 53 „ „ „ „ .	27,77	„	4,81	59,95	5,29	2,19
desgl. 58 „ „ „ „ .	27,46	„	4,19	58,41	5,45	2,22
desgl. 62 „ „ „ „ .	25,72	„	4,20	60,61	4,65	2,07
desgl. 78 „ „ „ „ .	15,79	„	9,21	69,52	2,81	1,66

Zu erwähnen ist, dass hier vor Entnahme der letzten Schlackenprobe Schlacke abgelassen wurde. Die in diesem Zeitabschnitte stattfindende Verbrennung von Eisen spiegelt sich daher in der Zusammensetzung der Schlacke besonders deutlich.

2. Feinkorneisendarstellung aus silicium- und manganreichem Roeisen auf einem oberschlesischen Eisenwerke.

	SiO_2	FeO	Fe_2O_3	MnO	Al_2O_3	CaO	P_2O_5
Im Herde zurückgebliebene Schlacke	15,32	52,18	22,31	6,56	0,33	0,70	2,30
43 Minuten nach dem Einsetzen .	20,50	54,61	7,72	12,38	0,41	0,80	4,30
52 „ „ „ „	23,18	52,43	6,94	12,51	0,49	0,83	4,22
55 „ „ „ „	20,37	57,06	9,04	10,10	0,30	0,51	3,49
62 „ „ „ „	19,95	51,68	11,45	11,69	0,27	0,50	4,26
91 „ „ „ „	21,91	46,76	12,36	15,87	0,30	0,43	3,10
96 „ „ „ „	19,45	48,04	13,48	14,40	0,34	0,62	4,17
Aus der Luppe ausfliessende Schlacke	16,29	51,62	19,32	8,46	0,38	0,61	3,78

3. Stahldarstellung in Zorge.

	SiO_2	P_2O_5	Fe_2O_3	FeO	Al_2O_3	MnO	CaO MgO
47 Minuten nach dem Einsetzen .	20,98	5,25	7,12	58,98	2,78	1,64	3,46
66 „ „ „ „	20,51	5,25	4,09	62,03	2,82	1,64	3,64
80½ „ „ „ „	20,12	n. best.	4,12	62,14	2,87	n. best.	3,67
98 „ „ „ „	20,34	„	5,20	61,20	2,87	„	3,21
113 „ „ „ „	20,27	„	5,20	61,20	2,91	„	4,16
122 „ „ „ „	20,40	„	4,95	61,34	3,05	„	3,53
Im Ofen zurückbleibende Schlacke	20,52	„	6,24	59,88	2,86	„	3,48

f) Die Betriebsergebnisse.

Die Zeitdauer der Verarbeitung eines Satzes bis zu dem Wiederbeginn des Einsetzens pflegt — abweichend nach der Beschaffenheit des Roheisens — bei Oefen ohne Vorwärmung des Roheisens 1½ bis 2 Stunden zu sein, so dass also in 24 Stunden 12—16 Sätze verarbeitet werden. Durch starke Vorwärmung lässt sich die Zahl der Sätze erheblich steigern, und in Oefen mit Doppelherden (Springer, Piëtzka) pflegt man 20—24 Sätze in 24 Stunden zu verarbeiten. Die Erzeugung eines einfachen Puddelofens in 24 Stunden beträgt demnach durchschnittlich etwa 3 t, eines Doppelpuddelofens ohne Vorwärmung 5 t, eines Doppelpuddelofens mit zwei Herden 10 t.

Ein einfacher Puddelofen wird der Regel nach von 2 Arbeitern in der Schicht bedient, während durch einen dritten Arbeiter, der für mehrere Oefen gemeinschaftlich angestellt ist, die Handlangerarbeiten (Herbeiholen der Materialien, Hülfe beim Luppenfahren u. s. w.) besorgt werden. Doppelpuddelöfen erheischen auch die doppelte Zahl Arbeiter.

Der Abbrand, d. h. der Unterschied im Gewichte des Einsatzes und der erfolgten Rohschienen beträgt durchschnittlich etwa 12 Hunderttheile vom Roheisengewichte, kann aber auch auf 15 Hunderttheile steigen und in anderen Fällen bis auf

3 Hunderttheile sinken. Um die Erklärung für diese beträchtlichen Abweichungen zu finden, muss man mehrere Umstände zugleich in Betracht ziehen.

Zunächst ist die Zusammensetzung des Roheisens hierbei von Einfluss. Je höher sein Gehalt an ausscheidenden Fremdkörpern ist (Mangan, Silicium, Phosphor), desto höher muss der Gewichtsverlust beim Frischen ausfallen.

Sodann ist die Art und Weise, in welcher die Oxydation bewirkt wird, von Einfluss. Wenn das in Verarbeitung befindliche Eisen der Berührung der Verbrennungsgase thunlichst entzogen ist, muss vornehmlich der Eisenoxydgehalt der zugesetzten Schlacke als Verbrennungsmittel dienen ($3\,Fe_2O_3 + 3\,C = 6\,FeO + 3\,CO$; $2\,Fe_2O_3 + Si = 4\,FeO + SiO_2$, u. s. f.); metallisches Eisen wird hierbei wenig oder gar nicht verbrannt, wie schon oben hervorgehoben wurde. Rasches Einschmelzen und reichlicher Schlackenzusatz tragen daher zur Verminderung des Abbrandes bei. Ob im Puddelofen auch Eisenoxydul als Oxydationsmittel zu dienen vermag ($2\,FeO + Si = 2\,Fe + SiO_2$; $FeO + Mn = Fe + MnO$; $FeO + C = Fe + CO$), ist bislang nicht nachgewiesen. Der Vorgang ist so lange nicht denkbar, als noch Eisenoxyd in der Schlacke sich findet, und die Berührung der Schlacke mit den Verbrennungsgasen ermöglicht in den gewöhnlichen Fällen eine stete und rasche Erneuerung des verbrauchten Oxydgehaltes, wie die oben mitgetheilten Schlackenanalysen erweisen. Träte aber ausnahmsweise, z. B. in hoher Temperatur des Ofens, einmal der Fall ein, dass Eisenoxydul aus der Schlacke reducirt würde, so würde 1 Gewichtstheil reducirtes Eisen an die Stelle von 0,25 Gewichtstheilen Silicium oder 0,98 Gewichtstheilen Mangan oder 0,21 Gewichtstheilen Kohlenstoff treten; das Ausbringen wäre höher als der Einsatz.

Endlich darf aber auch nicht ausser Acht bleiben, dass in dem Gewichte der Rohschienen das Gewicht der eingeschlossenen Schlacke mit inbegriffen ist, und dass man aus diesem Grunde für das Ausbringen um so höhere, für den Abbrand um so niedrigere Ziffern erhält, je schlackenreicher die Rohschienen sind. Zuverlässige Bestimmungen des Schlackengehaltes der Rohschienen liegen nur wenig vor; wenn aber fertiges Handelseisen mehr als 2 Hunderttheile Schlacke enthalten kann (Seite 779), so darf man annehmen, dass der Schlackengehalt der Rohschienen mindestens den doppelten Betrag zu erreichen vermag.[1]) Berücksichtigt man diesen Umstand, so steigert sich die Ziffer für den wirklichen Abbrand in manchen Fällen nicht unerheblich. Je grösser der Einsatz im Puddelofen war, desto schlackenreicher pflegen, wie früher hervorgehoben wurde, die Rohschienen zu sein; das auffallend günstige Ausbringen mancher Doppelpuddelöfen beruht jedenfalls zum Theil auf diesem Umstande.

Der Brennstoffverbrauch zur Darstellung von 1000 kg Rohschienen pflegt bei Anwendung von Steinkohlen und einfachen Oefen mit Rostfeuerung 800—900 kg zu betragen, wenn man gewöhnliches Weisseisen auf sehniges schmiedbares Eisen verarbeitet; bei Darstellung

1) Die auf Seite 779 mitgetheilten Schlackenbestimmungen bestätigen im Wesentlichen diese Annahme.

54*

von Stahl steigt der Brennstoffverbrauch auf 1300 kg und darüber. Der Grund hierfür liegt in der längeren Zeitdauer des Verfahrens wie in der Nothwendigkeit, hohe Temperatur bei wenig oxydirender Flamme im Ofen zu erhalten. In gewöhnlichen Doppelpuddelöfen mit Steinkohlen-Gasfeuerung (Bicherouxöfen) sinkt der Brennstoffverbrauch auf 650 bis 700 kg, in Doppelpuddelöfen mit zwei Herden auf etwa 500 kg. Benutzt man Braunkohlen als Brennmaterial, so erhöht sich der Brennstoffverbrauch in ungefähr gleichem Maasse als ihre Wärmeleistung geringer ist.

Dass bei Puddelöfen mit Rostfeuerung und einfacher Gasfeuerung (ohne Wärmespeicher und Umsteuerung der Flammenrichtung) die Abhitze zur Heizung der Dampfkessel verfügbar bleibe, wurde schon erwähnt.

g) Die Erzeugnisse.

Die Rohschienen, das erste Erzeugniss des Puddelverfahrens, sind, wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, von Schlacke reichlich durchsetzt und erfordern eine fernere Reinigung durch Schweissen und Walzen, sofern man sie nicht als Material für Flusseisendarstellung durch Schmelzen im Martinofen benutzen will.

Die Eigenthümlichkeiten des geschweissten Puddeleisens im Vergleiche zu anderm Schweisseisen, insbesondere zum Frischfeuereisen, wurden schon früher erwähnt: aus vorzüglichem Roheisen lässt sich zwar im Frischfeuer ein schmiedbares Eisen darstellen, welches sich vor dem Puddeleisen durch Gleichartigkeit und geringen Schlackengehalt auszeichnet; aber aus phosphorreichen Roheisensorten gelingt es leichter im Puddelofen als im Frischfeuer, ein noch brauchbares Eisen zu erzeugen.

Die Schlacken des Puddelverfahrens sind, wie die oben mitgetheilten Analysen nachweisen, den Frischfeuerschlacken im Wesentlichen gleich und wie diese reich an Eisenoxyden, aber auch, sofern man phosphorreiches Roheisen verarbeitete, reich an Phosphorsäure (vergl. die Analyse auf Seite 822). Die phosphorsäurereichen Schlacken werden beim Hochofenbetriebe wieder zugesetzt und sind in solchen Fällen besonders gesucht, wo man auf phosphorreiches Roheisen für das Thomasverfahren (s. u.) arbeitet; die phosphorsäureärmeren bleiben im Puddelofen, bis auch ihr Phosphorgehalt sich so weit angereichert hat, dass ein Ersatz geboten erscheint.

5. Das Puddeln in Drehöfen.

a) Einleitung.

Derselbe Zweck, welchen man bei Einführung der Puddelmaschinen im Auge hatte, die Ersparung an menschlicher Arbeit, lässt sich auch erreichen, wenn man, statt die Mischung der Schlacke und des Roheisens durch Rühren zu bewirken, den Herd des Ofens beweglich macht und durch seine Drehung eine stets erneuerte Mischung jener Körper herbeiführt. Hierdurch fällt dann allerdings jene Eigenthümlichkeit

des Puddelverfahrens weg, welche ihm den Namen gegeben hat, dennoch hat man die Bezeichnung Puddeln auch für dieses Verfahren beibehalten.

Der chemische Verlauf des Verfahrens ist in der That demjenigen in feststehenden Oefen sehr ähnlich. Auch hier ist es die zugesetzte eisenreiche Schlacke, welche die Oxydation des Siliciums, Phosphors, Kohlenstoffs und Mangans bewirkt, indem ihr Eisenoxydgehalt zu Oxydul reducirt wird. Dennoch sind einige Unterschiede beachtenswerth.

Da bei dem Drehofen die Arbeit des Rührens wegfällt, kann er während der ganzen Zeit der chemischen Thätigkeit geschlossen gehalten werden. Die Einströmung äusserer Luft und die damit verknüpfte Abkühlung und Oxydation fällt weg, der Brennstoffverbrauch ist günstiger, der Abbrand geringer.

Während in dem feststehenden Puddelofen die Mischung des Eisens und der Schlacke in jedem Augenblicke nur an einer Stelle vor sich geht, da, wo der Rührhaken sich gerade befindet, und man durch niedrige Temperatur einer allzu raschen Entmischung der Körper vorbeugen muss, wird in dem Drehofen die Mischung der ganzen geschmolzenen Masse ununterbrochen erneuert. Die Einwirkung wird dadurch gleichmässiger. Der Umstand aber, dass das Rühren des Eisens mit der Kratze wegfällt, ermöglicht den Zusatz reichlicherer Mengen oxydirender Körper (Schlacken) als im feststehenden Ofen; der andere Umstand, dass der Zutritt der äusseren, oxydirend wirkenden Luft beschränkt ist, macht diesen reichlicheren Zusatz sogar nothwendig. Je grösser aber die Menge der anwesenden eisenreichen Schlacke ist, desto kräftiger vermag sie auf den Phosphorgehalt des eingesetzten Eisens einzuwirken; hieraus erklärt es sich, dass im Drehofen durchschnittlich eine weitergehende Entphosphorung herbeigeführt wird, als im feststehenden.

Trotz dieser unleugbaren Vorzüge haben die Drehöfen beim Puddelbetriebe sich nur vereinzelt Eingang zu verschaffen vermocht, und in der Jetztzeit sind sie ziemlich vollständig wieder ausser Anwendung gekommen. Die Gründe dafür sind in verschiedenen Umständen zu suchen. Die Bewegung des Ofens erfordert einen mechanischen Arbeitsaufwand, der nicht ohne Kosten zu bestreiten ist, und in vielen Fällen werden diese Kosten kaum niedriger sein als die Ersparung an Arbeitslöhnen. Die Einrichtung eines Drehofens ist kostspieliger als die eines feststehenden, die erforderlichen Ausbesserungsarbeiten sind häufiger als bei letzterem. Insbesondere ist die Herstellung des Futters eines Drehofens schwieriger, da es nicht allein gegen die chemischen Einflüsse des Verfahrens widerstandsfähig sein, sondern auch den Erschütterungen u. s. w. beim Drehen des Ofens gegenüber sich als haltbar erweisen muss, und öfter als im feststehenden Ofen muss das Futter erneuert werden. Damit die höheren Anlagekosten des Drehofens vortheilhafter ausgenutzt werden, pflegt man ihn für grössere Einsätze herzurichten; während aber der Einsatz des feststehenden Ofens in mehrere kleine Luppen getheilt wird, die dann einzeln gezängt und ausgewalzt werden, erfolgt in den meisten Drehöfen — und zwar gerade in denjenigen, deren sonstige Ergebnisse am günstigsten waren — unter Ausschluss fast aller Handarbeit eine einzige sehr grosse Luppe, die

alsdann, um gezängt und gewalzt zu werden, ganz besonderer Vorrichtungen bedarf. Trotzdem bleibt sie schlackenreicher als die aus kleineren Einsätzen erfolgenden Luppen der feststehenden Oefen und erheischt eine umfänglichere Bearbeitung, um ein brauchbares Fertigerzeugniss zu liefern.

b) Die Drehpuddelöfen.

Die erste Einrichtung eines Drehpuddelofens rührt von dem Schweden Oestlund her, welcher im Jahre 1859 einen solchen auf dem Eisenwerke zu Finspong erbaute. Er bestand aus einem topfartigen Gefässe an dem oberen Ende einer schräg stehenden, sich drehenden Welle. Die Heizung fand durch Gase statt, welche in die Mündung des Gefässes einströmten; eine besondere Vorrichtung diente dazu, die Welle sammt dem Gefässe nach beendigter Umwandlung des Roheisens zu kippen, um die Luppe herausrollen zu lassen. Ausser in Finspong hat der Oestlundsche Ofen in seiner ursprünglichen Form keine Anwendung gefunden.[1])

Auch eine in den siebziger Jahren von den Engländern Godfrey und Howson auf einigen Eisenwerken Clevelands eingeführte verbesserte Form des Oestlundschen Ofens hat einen nennenswerthen oder zur Nachahmung anregenden Erfolg nicht gehabt.[2])

Der auf Seite 156 abgebildete Tellerofen von Pernot war ursprünglich zum Puddeln bestimmt. Da aber das Umsetzen und Luppenmachen hier durch Handarbeit geschehen musste, wurde verhältnissmässig wenig menschliche Arbeit bei seiner Anwendung gespart; der Ofen besass, sofern er zum Puddeln diente, die Nachtheile aller Drehöfen ohne die Vortheile mancher derselben, und seine Anwendung gelangte deshalb nicht über das Versuchsstadium hinaus.

Erfolgreicher waren solche Oefen, die schon auf Seite 154 erwähnt und als Tonnenöfen bezeichnet wurden: mit tonnenförmigem Herde und wagerechter Drehungsachse.

Schon im Jahre 1862 wurde in Finspong an Stelle des älteren Oestlundschen Topfofens ein solcher Cylinderofen durch Ekman gebaut[3]); verschiedene ähnliche Formen wurden im Laufe der sechziger Jahre vorgeschlagen[4]), ohne wirkliche Bedeutung zu erlangen. Manche scheiterten an der Schwierigkeit, ein oxydirendes und bei der Drehung ausreichend haltbares Futter herzustellen. Besseren Erfolg hatte ein von dem Amerikaner Danks im Jahre 1871 erbauter Ofen, welcher unter allen Drehöfen der berühmteste geworden ist.

Der Danksofen war im Aeusseren dem auf Seite 154 in Fig. 43 und 44 abgebildeten Siemensschen Drehofen ähnlich, ruhte wie dieser auf Rollen und wurde durch Vermittelung eines am Mantel befestigten

1) Abbildung dieses Ofens und Beschreibung des Betriebes: Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben und Příbram, Band IX, Seite 162; Revue universelle des mines, série 2, tome III, p. 100; Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 296.

2) Abbildung: The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, p. 416.

3) Revue universelle des mines série 2, tome III, p. 110.

4) Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 298; auch A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878, Seite 122.

Getriebes gedreht. Statt der Siemensfeuerung pflegte man dem Ofen eine einfache Gasfeuerung zu geben; die Flamme wendete sich nicht hufeisenförmig zurück, wie bei dem Ofen Fig. 43, sondern entwich an der ihrer Eintrittsstelle gegenüber liegenden Seite durch einen hier angeordneten Fuchs. Damit aber das Ofeninnere trotzdem zugänglich blieb, war der Fuchskanal mit einem Eisenblechmantel umgeben und dadurch beweglich gemacht, so dass man ihn mit Hülfe eines Krahnes oder einer sonstigen Vorrichtung leicht entfernen und die Oeffnung des Ofens frei legen konnte. Durch Wasserkühlung des Ofenmantels war einer allzu raschen Zerstörung des Ofens selbst entgegen gewirkt.

Danksöfen sind während der siebziger Jahre dieses Jahrhunderts in Middlesborough, auf einigen Werken Nordamerikas und zu Creusot (Frankreich) in Benutzung gewesen. In Deutschland haben sie ebenso wenig als andere Drehöfen Verwendung gefunden.

Der Vollständigkeit halber möge hier erwähnt werden, dass ein dem Danksofen ähnlicher Drehpuddelofen, jedoch in eigenartiger Weise mit staubförmigem Brennmaterial geheizt, 1874 durch Crampton im Arsenal zu Woolwich gebaut wurde.[1]) Nachahmung hat die Einrichtung nicht gefunden.

Hinsichtlich des Arbeitsverfahrens, der Betriebsergebnisse und der angestellten chemischen Untersuchungen bei den Drehpuddelöfen möge, da das Verfahren in der Jetztzeit seine Bedeutung gänzlich verloren hat, auf die gegebene Literatur verwiesen werden.

Literatur.

a) Grössere Werke.

Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde. Braunschweig 1864. Abtheilung 1, S. 487—606 (Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen).

H. Wedding, Die Darstellung des schmiedbaren Eisens. Braunschweig 1875 (S. 54—112 Herdfrischen; S. 113—332 Puddeln).

P. Tunner, Die Stabeisen- und Stahlbereitung in Frischherden. 2 Bde. 2. Auflage. Freiberg 1858.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Bd. III. Leipzig 1891.

b) Abhandlungen.

Ueber Darstellung des Schweisseisens aus Erzen.

C. v. Schwarz, Ein Eisenwerk Centralindiens. Zeitschr. d. berg- u. hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1879, S. 1. Zeitschr. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1892, S. 189.

E. Fuchs et E. Saladin, Métallurgie du fer chez les Khouys. Annales des mines, série 8, tome II, p. 287.

T. Egleston, The American bloomary process for making iron direct from the ore. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VIII, p. 515.

W. Siemens, Some further remarks regarding the production of iron and steel by direct process. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, p. 345.

1) Abbildung eines solchen Ofens: The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, p. 384; Revue universelle des mines, tome XXXVII.

A. L. Holley, Notes on the Siemens direct process. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VIII, p. 321; im deutschen Auszuge in der Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 140.

Late developments in the Siemens direct process. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. X, p. 274; deutsch in „Stahl und Eisen" 1883, S. 253.

P. Tunner, Neuere Fortschritte in der directen Darstellung des Eisens aus seinen Erzen (Siemensprocess). Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1881, S. 253.

J. Ireland, Some recent improvements in the manufacture of iron sponge. The Journal of the Iron and Steel Institute 1878, p. 47.

G. Husgavel, A direct method of producing malleable iron and steel. Journal of the Association of Charcoal Iron Workers, vol. VII, p. 280.

L. Garrison, Husgavel's improved high bloomary for production of iron and steel direct from ore. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XVI, p. 334.

Neuer Finnländischer Stückofen. „Stahl und Eisen" 1887, S. 471.

J. v. Ehrenwerth, Der Eamesprocess. Oesterr. Zeitschr. 1891, S. 545.

A. Ledebur, Ueber Darstellung von schmiedbarem Eisen aus Erzen. „Stahl und Eisen" 1886, S. 576.

Ueber Frischfeuerbetrieb.

Botischew, Ueber Veränderungen, welche das Roheisen während des Frischprocesses erleidet. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1862, S. 228, aus dem Russischen Berg-Journal 1862, Bd. I, S. 238.

R. Åkerman, Die schwedische Eisenindustrie. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1877, S. 120.

J. v. Ehrenwerth, G. A. Forsbergs Frischfeuer. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1885, Nr. 33.

Beschreibung der Erzeugung des Steirischen Herdfrischstahls. „Stahl und Eisen" 1889, S. 485.

Ueber Puddeln und Drehpuddeln.

K. List, Beitrag zur Theorie des Puddelprocesses. Programm der Gewerbschule zu Hagen 1860, S. 4; Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie für 1860, S. 46.

K. List, Ueber das Verhalten des Siliciums beim Frischen des Roheisens. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. IX, S. 380.

K. List, Anmerkungen über die Wichtigkeit des Eisenoxydgehaltes der Frischschlacken. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XIX (1875), S. 19.

J. Kollmann, Beiträge zur Untersuchung des Puddelprocesses. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XVIII (1874), S. 325.

A. Schilling, Beiträge zur Kenntniss des Puddelprocesses. Berg- und hüttenm. Ztg. 1863, S. 313; Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie, Bd. IX, S. 61.

Chr. Lan, Studien über die Reactionen beim Verfrischen des Gusseisens. Berg- und hüttenm. Ztg. 1860, S. 181 aus den Annales des mines, série 5, tome XV.

Dr. Drassdo, Ueber die chemischen Vorgänge bei Ueberführung des Roheisens in Stabeisen durch den Puddelprocess. Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1863, S. 170.

G. J. Snelus, Die chemischen Vorgänge beim Puddeln im Danksofen. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCIV, S. 216.

H. Louis, On the chemistry of puddling. The Journal of the Iron and Steel Institute 1879, p. 219.

L. Bell, Ueber die Ausscheidung des Phosphors vom Eisen bei der Raffinirung im Puddelofen. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1877, S. 385.

Petersen, Der Puddelprocess mit Bezug auf die Entphosphorungsfrage. Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, S. 35.

P. Roberts, The puddling process, past and present. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VIII, p. 355; deutsch in der Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 191.

Zusammenstellung über die Betriebsverhältnisse von Puddel- und Schweissöfen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XVI (1872), S. 673.

L. Bell, Price's retort furnace The Journal of the Iron and Steel Institute 1875, p. 451.

A. Raze, Note sur l'application du système Bicheroux aux fours à puddler. Revue universelle des mines, série 2, tome I (1877), p. 196.

Anwendung des Bicheroux-Systems auf Puddelöfen in der Eisenhütte zu Ougrée. „Stahl und Eisen" 1882, S. 429.

J. de Macar, Note sur l'application système Boëtius an puddlage. Revue universelle des mines, série 2, tome I, p. 202.

R. v. Borbely, Ueber den Betrieb der Regenerativ-Puddelöfen. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1878, S. 208.

Dr. Kosmann, Ueber den Puddelbetrieb in dem Siemensschen Gasregeneratorofen. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. XVIII (1870), S. 145.

E. Goedicke, Entwickelung und gegenwärtiger Stand des Puddelofenbetriebes mit Gasfeuerung. „Stahl und Eisen" 1889, S. 554.

Wedding, Der Piétzkasche Puddelofen. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. XXII, S. 169.

Der Piétzka-Puddel- und Schweissofen. Oesterr. Zeitschr. 1892. S. 211.

Gaspuddelofen von Springer. „Stahl und Eisen" 1889, S. 776.

S. Jordan, Notice sur le puddlage mécanique en Suède. Revue universelle des mines, série 2, tome III (1878), p. 100.

H. Kirk, On puddling in ordinary and rotary furnaces. The Journal of Iron and Steel Institute 1876, p. 367; 1877, p. 140.

T. R. Cramptons revolving furnace and its products. The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, p. 384.

R. Howson, On mechanical puddling. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, p. 416.

Ueber die Anwendung von Maschinen beim Puddelbetriebe. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XI (1867), S. 107.

E. Fisher-Smith, On the Casson-Dormoy puddling furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1876, p. 109.

Report of the Belgian commission on the working of the Danks rotary puddling furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, p. 311.

Fr. Kupelwieser, Studien über die Benutzung der Abhitze von Pudddel- und Schweissöfen. Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben und Přibram, Bd. XIX, S. 289.

Th. Turner, Economical puddling and puddling cinder. Journal of the Iron and Steel Institute 1891, I, p. 119.

F. Gouvy, Die Doppelexplosionen von Puddelöfen. „Stahl und Eisen" 1892, S. 1001.

IV. Die Darstellung des Flusseisens.

I. Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Flusseisens und die Erzielung dichter Güsse.

Wegen seines flüssigen Entstehungszustandes ist das Flusseisen, wie schon mehrfach hervorgehoben worden ist, schlackenfrei und innerhalb eines und desselben Gussblockes oder Abgusses annähernd gleichartig zusammengesetzt.

Die letztere Eigenschaft, die Gleichartigkeit der Zusammensetzung, hat jedoch, was wohl zu beachten ist, ihre Grenzen.

Auf Seite 249 wurde alles gewerblich dargestellte Eisen als eine Legirung des Eisens mit anderen Körpern — Kohlenstoff, Silicium, Phosphor, Schwefel, Mangan u. s. w. — bezeichnet. Wie zahlreiche andere Legirungen besitzt diese die Eigenschaft zu saigern, d. h bei allmählicher Abkühlung in Legirungen von verschiedener Zusammensetzung und verschiedener Erstarrungstemperatur zu zerfallen (Seite 250). Deutlich zeigt sich eine solche Saigerung bei dem Roheisen, dessen Gehalt an fremden Körpern verhältnissmässig gross ist (Seite 328); eine genauere Untersuchung lässt auch beim Flusseisen den nämlichen Vorgang erkennen. Die Folge davon ist, dass auch in der Zusammensetzung eines und desselben Flusseisengussstückes an verschiedenen Stellen wahrnehmbare Unterschiede auftreten können. Je langsamer die Abkühlung stattfand, je grösser also der Abguss und je grösser die Menge der in ihm enthaltenen fremden Körper ist, desto deutlicher zeigen sich diese Unterschiede. Zur besseren Beleuchtung dieses Verhaltens des Flusseisens liess Snelus einen sehr grossen Flusseisenblock, 0,48 m im Durchmesser, 2,13 m hoch, dessen Schwefel- und Phosphorgehalt absichtlich etwas angereichert war, sehr langsam erstarren und fand dann folgende abweichende Zusammensetzung zweier Platten, deren eine in der Nähe des oberen Endes und deren andere unweit vom Boden ausgeschnitten war.[1])

	Fe	C	Si	S	P	Mn	Cu
Oben	98,21	0,68	0,02	0,14	0,14	0,68	0,004
Unten	99,03	0,39	0,02	0,04	0,06	0,50	0,004

Auch in der Zusammensetzung am Rande und in der Mitte des Blockes (wo das Eisen zuletzt flüssig bleibt) zeigten sich nicht unerhebliche Abweichungen; so z. B. besassen sechs Proben, welche der Reihe nach an sechs Punkten einer von der Ecke nach der Mitte gezogenen Diagonale genommen wurden, folgende Gehalte an Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor (Probe Nr. 1 ist zunächst am Rande, Nr. 6 aus der Mitte des Blockes genommen):

1) Vergl. Literatur. Die oben mitgetheilten Ziffern sind die Durchschnittswerthe aus mehreren in der Originalabhandlung mitgetheilten, übrigens gut übereinstimmenden Analysen.

	Oberer Ausschnitt			Unterer Ausschnitt		
	C	S	P	C	S	P
Probe Nr. 1 . . .	0,44	0,032	0,044	0,44	0,048	0,060
" " 2 . . .	0,54	0,048	0,060	0,42	0,056	0,062
" " 3 . . .	0,57	0,080	0,086	0,41	0,048	0,054
" " 4 . . .	0,61	0,096	0,097	0,40	0,048	0,054
" " 5 . . .	0,68	0,120	0,111	0,38	0,048	0,054
" " 6 . . .	0,77	0,187	0,142	0,37	0,044	0,052

Wie man sieht, sind die Unterschiede am oberen Ende bedeutender als am unteren.

Auch noch in mehrfacher anderer Weise macht sich die Saigerung des Flusseisens bemerkbar. Betrachtet man die Oberfläche eines Gussblockes oder Formgusstückes genau, so findet man sie häufig mit zahlreichen Körnchen von Hirsekorngrösse oder noch etwas grösser bedeckt. Die Körnchen sind Tropfen einer Legirung von niedrigerer Schmelztemperatur, welche aus dem bereits starr gewordenen und sich zusammenziehenden Muttereisen herausgedrückt wurden wie Quecksilbertropfen aus einem Lederbeutel, wenn man ihn stark drückt.[1]) Bei der Untersuchung dieser Tropfen und des zugehörigen Muttereisens fand ich folgende Schwefel- und Phosphorgehalte:

	S	P
Muttereisen	0,03	0,06
Ausgesaigerte Tropfen	0,08	0,10

Noch grössere Unterschiede in der Zusammensetzung des Muttereisens und der entstandenen Aussaigerungen erhält man bisweilen, wenn im Innern eines erstarrenden Abgusses sich infolge der stattfindenden Schwindung des Metalls ein zunächst luftleerer Hohlraum bildet (welcher Vorgang sogleich ausführlicher besprochen werden soll) und nun die noch flüssig gebliebene, im erstarrten Metall eingeschlossene Legirung gewissermaassen ansaugt. In einem solchen Hohlraume einer 7 t schweren Walze aus Bessemerstahl fand Reuss[2]) eine Aussaigerung in Form eines flachen Kuchens von 15 mm Dicke und 50 mm Durchmesser; die chemische Untersuchung lieferte nachstehende Ergebnisse:

	C	Si	P	S	Mn
Probe aus dem vollen Metall; 300 mm unterhalb des Hohlraumes	0,309	0,252	0,079	0,055	0,960
Probe von der Oberfläche des Hohlraumes . .	0,680	0,326	0,318	0,325	1,490
Ausgesaigerter Kuchen innerhalb des Hohlraumes	1,274	0,410	0,753	0,418	1,080

Zertheilt man einen noch unbearbeiteten Abguss aus Flusseisen in zwei Hälften, so erkennt man nur in einzelnen Fällen eine vollständig dichte Bruchfläche. Mit Hülfe einer Lupe kann man fast immer

1) Die gleiche Erscheinung zeigt sich beim Gusseisen und wird in den Eisengiessereien Anbrand genannt. Näheres: A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Seite 35.

2) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 643.

mehrere, wenn auch bisweilen nur kleine, Hohlräume auf der Bruchfläche wahrnehmen; häufig treten solche Hohlräume in reichlicher Menge und in grösseren Abmessungen (bis zu einigen Centimetern Durchmesser und Länge) auch dem unbewaffneten Auge deutlich entgegen, und in einzelnen Fällen ist die ganze Bruchfläche mit solchen Hohlräumen durchsetzt.

Die Eigenschaft, solche Hohlräume im Innern beim Uebergange aus dem geschmolzenen in den festen Zustand zu bilden, theilt das Flusseisen mit zahlreichen anderen Metallen (Kupfer, Nickel, Silber u. s. w.), und je stärker ausgeprägt diese Eigenschaft hervortritt, desto grösseren Schwierigkeiten begegnet die Verwendung des betreffenden Metalls zur Herstellung von Gebrauchsgegenständen durch Giessen. Auch manche Sorten Gusseisen, besonders manganreichere und siliciumärmere, lassen jene Eigenschaft erkennen.

Bei dem Flusseisen benachtheiligt diese Entstehung von Hohlräumen im Innern die Brauchbarkeit auch dann, wenn der gegossene Gegenstand nicht etwa unmittelbar als Gebrauchsgegenstand dienen soll, sondern zuvor einer mechanischen Bearbeitung durch Hämmern, Pressen oder Walzen unterzogen wird. Denn die Wände jener Hohlräume lassen sich durch kräftige Bearbeitung in hoher Temperatur zwar fest zusammendrücken, aber niemals oder nur ausnahmsweise schweissen. Wo der Hohlraum sich befand, hinterbleibt eine unganze Stelle, welche durch Aetzen (Seite 705) auch dem Auge wieder erkennbar gemacht werden kann.

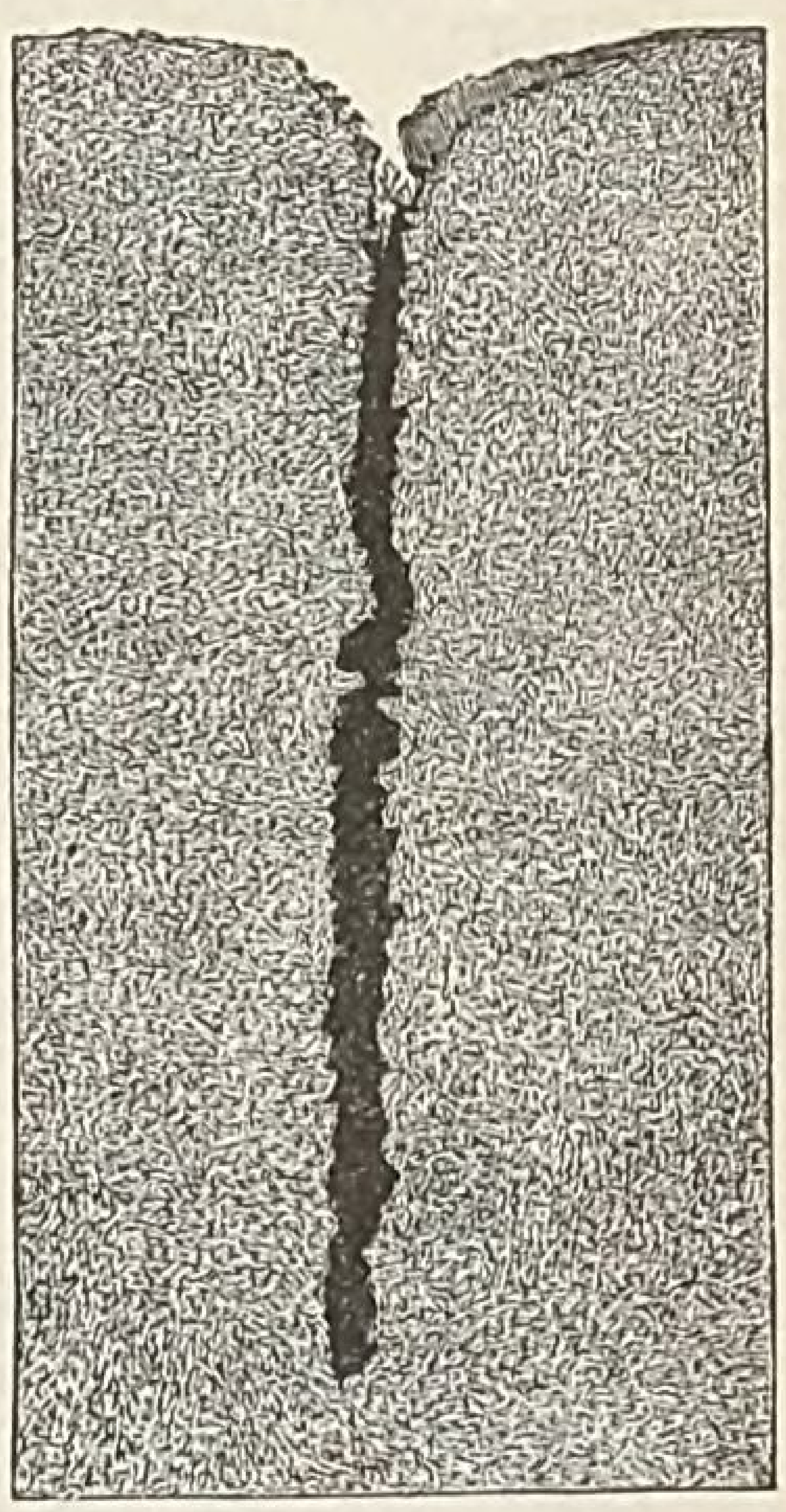
Die Entstehung jener Hohlräume beruht auf zwei verschiedenen Ursachen. Die eine Ursache ist die Schwindung, d. h. die Verkleinerung der Abmessungen, welche das Metall bei dem Erkalten erleidet. In dem Augenblicke, wo das flüssige Metall in die zu seiner Aufnahme dienende Gussform eingegossen wird, findet rings an dem Umfange infolge der Wärmeentziehung durch die Gussformwände Erstarrung, Abkühlung und Schwindung statt; mit anderen Worten: es entsteht hier sofort eine Kruste, welche das noch flüssige Metall einschliesst und nicht mehr so stark als dieses schwinden kann. Nunmehr beginnt dieses zu erstarren, indem es sich mehr und mehr an die vorhandene Kruste ansetzt; da es hierbei seinen Rauminhalt verkleinert, während der Umfang der zuerst erstarrten Rinde nicht mehr in dem gleichen Maasse abnimmt, muss im Innern ein Hohlraum entstehen, welcher immer mehr anwächst, je mehr die Erkaltung fortschreitet, und welcher sich an derjenigen Stelle findet, wo das Metall am längsten flüssig war. Bei prismatischen Blöcken liegt diese Stelle in der Nähe der Achse, bei weniger einfachen Formen gewöhnlich in der Mitte der stärksten Querschnitte, an Kreuzungspunkten u. s. w.

Diese Schwindungshohlräume sind deutlich durch die rauhe, zackige Form ihrer Wandungen gekennzeichnet, welche aus dem Bestreben des Metalls, zu krystallisiren, hervorgegangen ist. Mitunter finden sich deutlich ausgebildete Tannenbaumkrystalle, wie in Fig. 64 auf Seite 251 abgebildet, wenn auch von geringerer Grösse, als sie im grauen Roheisen angetroffen werden. Bei Abgüssen, deren Länge, Breite und Höhe nicht sehr von einander abweichen,

pflegen jene Hohlräume, ohne in einer bestimmten Richtung hin sich weit auszudehnen, die Mitte einzunehmen; haben die Abgüsse eine längere Achse, so erstrecken sie sich kanalartig in deren Richtung und erscheinen auf dem Querschnitte oft nur als eine durch zahlreiche Poren verursachte Unterbrechung des dichten Gefüges. Dass im Uebrigen auch die Art und Weise der Abkühlung, je nachdem sie gleichmässig von allen Seiten her oder mehr einseitig stattfindet, die Lage und Gestaltung der Hohlungen bedingt, folgt aus dem schon Gesagten.

Sofern nun die Hohlräume bei ihrer Entstehung nicht etwa durch Gase, welche aus dem Metalle austreten, angefüllt werden, sind sie leer in der buchstäblichen Bedeutung des Wortes. Von aussen her drückt aber die Luft auf die Oberfläche des Metalls; so kann es geschehen, dass, so lange das Metall noch weich ist, die Oberfläche eingedrückt wird und die Luft sich einen Kanal durch die weiche Masse bohrt, um die Leere im Innern auszufüllen. Diesen Vorgang nennt man L u n g e r n oder S a u g e n. Eine trichterförmige Oeffnung entsteht dabei an der Oberfläche (der Saugtrichter), welche nach innen verläuft. Fig. 258 zeigt den Querschnitt durch einen gegossenen prismatischen Metallblock mit dem Saugtrichter an der Oberfläche und dem kanalförmig von oben nach unten sich erstreckenden Schwindungshohlraume.

Fig. 258.



Die Grösse dieser Hohlräume ist um so beträchtlicher, je grösser das Schwindmaass (das Verhältniss der stattfindenden Verkürzung zu den Abmessungen der Gussform) des eingegossenen Metalls ist, je stärker es über seinen Schmelzpunkt erhitzt war, als es eingegossen wurde, und je grösser der Rauminhalt des Abgusses selbst ist. Die Begründung dieser Thatsachen liegt nahe und kann in jedem Handbuche über Giessen der Metalle nachgesehen werden. Es möge deshalb hier nur noch erwähnt werden, dass das Schwindmaass des an fremden Körpern reineren Flusseisens nicht unerheblich grösser ist als das des Giessereiroheisens; ersteres beträgt $^1/_{50}$—$^1/_{72}$ der Abmessungen und ist um so grösser, je kohlenstoffärmer das Metall ist; als Schwindmaass des Gusseisens dagegen nimmt man $^1/_{96}$ an. Aus diesem Grunde ist es schwieriger, aus geschmolzenem schmiedbaren Eisen als aus Gusseisen Abgüsse zu erzielen, welche frei von jenen Schwindungshohlungen sind.

In diesen Hohlräumen nun sammeln sich oft, wie oben erwähnt wurde, schwefel- und phosphorreiche Aussaigerungen. Wird ein prismatischer Block, in dessen Mitte sich ein solcher Saugkanal gebildet hat, im Walzwerke oder unter dem Hammer gestreckt, so hinterbleibt stets, wie schon betont wurde, in der Mitte eine lockere Stelle, und auch die beim Giessen entstandenen Aussaigerungen verrathen sich nach der Bearbeitung bei der chemischen Untersuchung der betreffenden Stellen. Hierdurch finden manche auffällige Vorgänge bei der Verarbeitung, Prüfung oder Benutzung des Flusseisens ihre Erklärung.

Stellt man z. B. Probestäbe für Prüfung auf Zugfestigkeit dar, indem man auf der Drehbank einen dickeren gewalzten oder geschmiedeten Stab auf einen kleineren Durchmesser abdreht, so muss das Verhältniss des Querschnitts der in der Mitte befindlichen lockeren Stelle zum Gesammtquerschnitte des Stabes um so beträchtlicher werden und die Festigkeit des geprüften Stabes um so geringer ausfallen, je kleiner der Durchmesser des abgedrehten Stabes geworden ist. Der Bruch erfolgt meistens da, wo die lockere Stelle ihre grösste Abmessung besass, und gewöhnlich verräth sich die lockere Stelle auf der Bruchfläche dem Auge durch ihren matteren Glanz und ihre dunklere Farbe. Dass in Wirklichkeit hier ein solcher beim Walzen zusammengedrückter Hohlraum vorhanden ist, lässt sich durch Aetzen der Probe nachweisen, zumal, wenn man sie der Länge nach durchtheilt und dann die Schnittfläche ätzt.[1]) Bei der Untersuchung einer solchen in der Mitte einer Zerreissprobe befindlichen lockeren Stelle und einer gesunden Stelle des nämlichen Stabes fand ich nachstehende Zusammensetzung:

	C	S	P	Si	Mn
Lockere Stelle .	n. best.	0,13	0,15	0,03	0,31
Gesunde Stelle .	„	0,06	0,04	0,03	0,25

Wie beim Abdrehen der Probestäbe zeigt sich um so deutlicher auch beim Auswalzen der Blöcke der Einfluss jener eingeschlossenen lockeren Stellen, je dünner der Querschnitt des fertigen Erzeugnisses ist. In besonders lästiger Weise bringen sie sich mitunter bei der Herstellung feinerer Bleche zur Geltung. Sie können hier, indem sie bei der fortschreitenden Streckung schliesslich freigelegt werden, die Entstehung rauher Oberflächen oder vollständige Abblätterungen verursachen, bei Weissblechdarstellung die Verzinnung erschweren und zu anderen Misserfolgen Veranlassung geben. Eccles wies durch chemische Untersuchungen nach, dass auch in diesen Fällen, ebenso wie bei dem soeben mitgetheilten Beispiele, schwefel- und phosphorreichere Verbindungen in der lockeren Stelle (dem ursprünglichen Hohlraume) sich angehäuft hatten.[2])

Die zweite Ursache zur Entstehung von Hohlräumen im Innern gegossener Metalle sind Gase, welche vor oder während des Erstarrens sich entwickelten und, ohne noch entweichen zu können, zurückgehalten wurden. Gerade beim Flusseisen besitzt diese Entstehungsweise von Hohlräumen eine hervorragende Wichtigkeit, da alles geschmolzene Flusseisen Gase in mehr oder minder reichlicher Menge entwickelt. Der Fall kommt vor, dass die Bruchfläche eines Abgusses vollständig von Gasblasen durchsetzt ist. Von den durch die Schwindung erzeugten Hohlräumen pflegen sich die Gasblasen theils durch ihre Lage, theils durch die glatte Form ihrer Wände zu unterscheiden. Der Fähigkeit des flüssigen Eisens, Gase, insbesondere Wasserstoff, zu lösen und beim Abkühlen und Erstarren ganz oder theilweise zu entlassen, ist schon auf Seite 311 gedacht worden. Neben dem Austreten

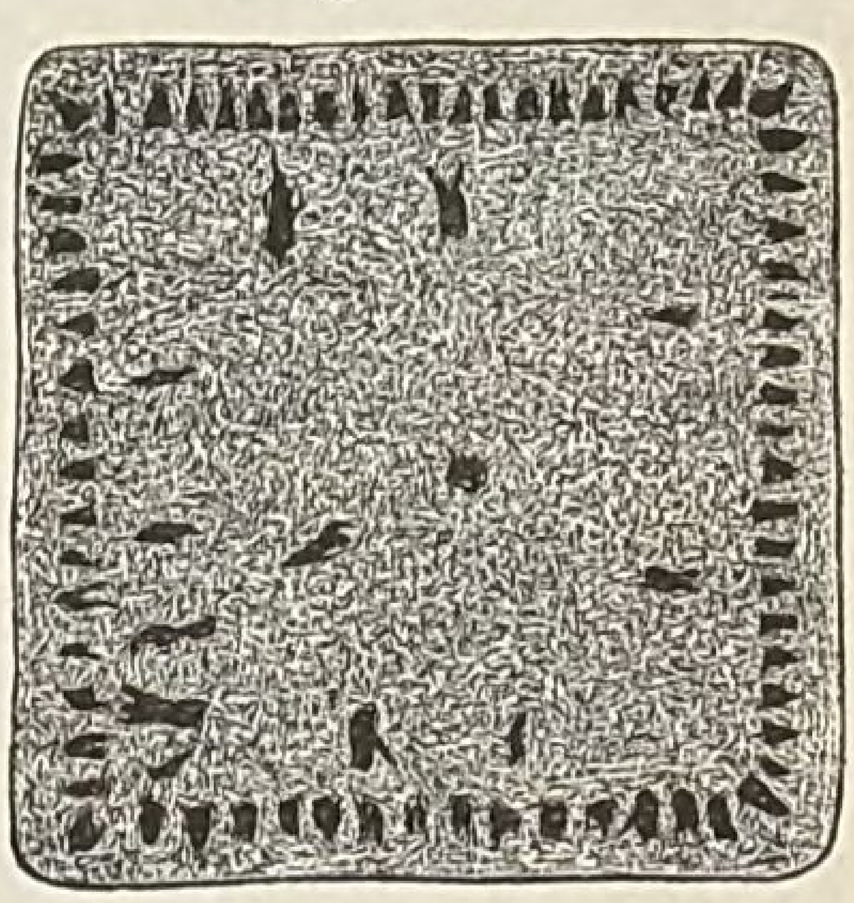
1) Naturgetreue Abbildungen solcher geätzten Proben enthält „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 15.

2) Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, p. 70; „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 740.

gelöst gewesenen Gases findet gewöhnlich eine Neubildung von Kohlenoxyd statt, welches in Vermischung mit jenem entweicht. Der Vorgang bei dieser Kohlenoxydbildung hat auf Seite 254 und 317 bereits ausführliche Besprechung gefunden. Die auf Seite 317 mitgetheilten Analysen der entweichenden Gase zeigen, dass die Menge des in ihnen enthaltenen Kohlenoxydes recht beträchtlich sein kann, während das in den Blasen des erstarrten Metalls eingeschlossene Gas nach den Analysen auf Seite 312 vorwiegend aus Wasserstoff besteht. Der Unterschied beruht auf dem Umstande, dass auch das erstarrte, noch glühende Metall noch reichlich Wasserstoff aushaucht, welcher in die zuvor entstandenen Gasblasen eintritt und hier trotz seiner beim Abkühlen eintretenden beträchtlichen Raumverringerung Ueberdruck erzeugt (Seite 313), während die Kohlenoxydbildung mit dem Starrwerden des Metalls aufhört.

Die Entwickelung der Gase aus dem Flusseisen ist deutlich erkennbar. So lange das Metall noch vollständig flüssig ist, zeigt sich seine Oberfläche mit einer brennenden Gasschicht bedeckt, welche bei längerem Stehen gewöhnlich schwächer wird; häufig werden, besonders wenn die Oberfläche des Metalls sich abkühlt und dadurch teigartige Beschaffenheit annimmt, knisternde, schwirrende Funken ausgeworfen, aus Theilchen des Metalls bestehend (Spratzen). Giesst man nun das Metall in eine oben offene Form, so zeigt sich, wenn das Gas reich ist an Gasen, kurz vor dem völligen Erstarren eine eigenthümliche Erscheinung. Das Metall, dessen Oberfläche bereits starr geworden ist, bläht sich auf, es wächst in der Form, und ein prismatischer Block kann unter Umständen fast die doppelte Höhe als vorher erlangen. Man nennt diesen Vorgang das Steigen des Flusseisens; er ist die Folge einer massenhaften Entwickelung von Gasen, welche keinen Ausweg mehr fanden.

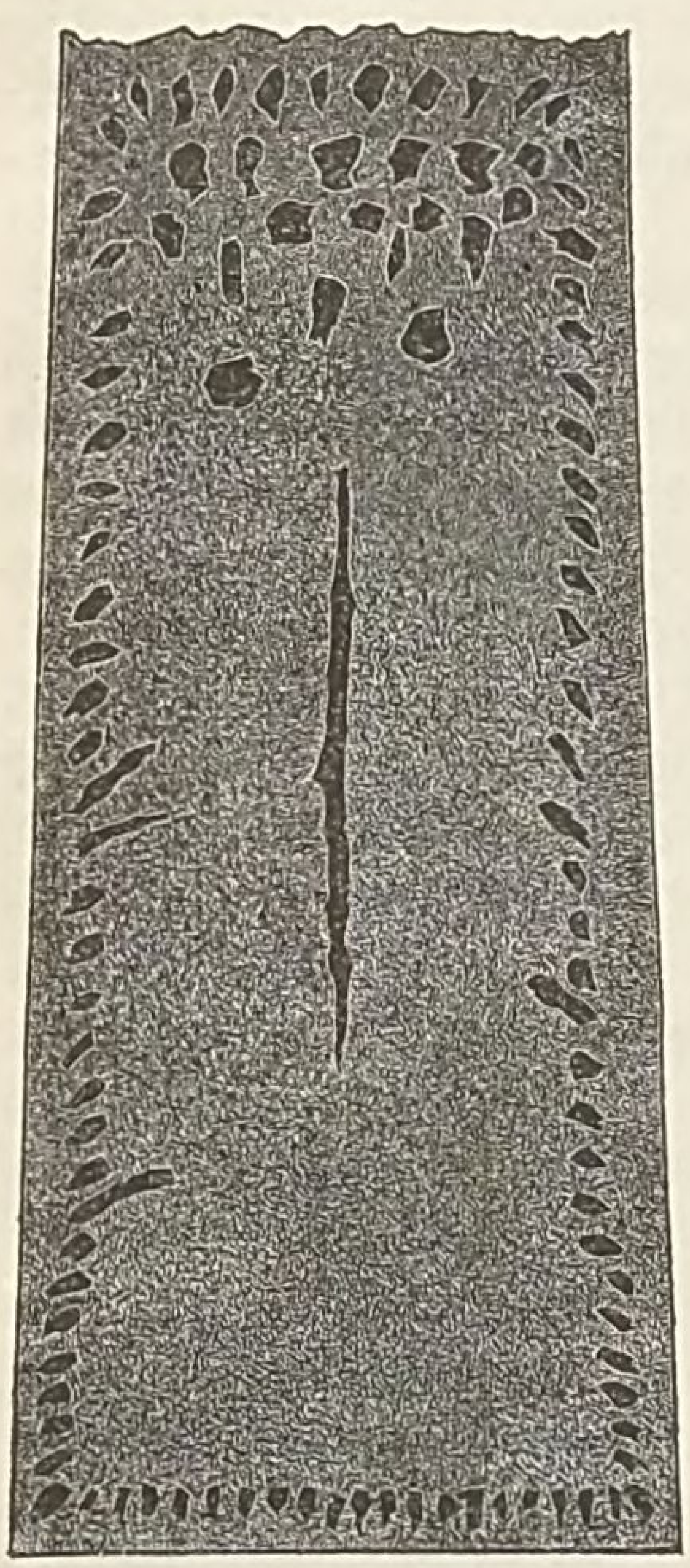
Fig. 259.



Aus dem Umstande, dass die Erstarrung des Metalls von den Wänden der Gussform nach innen zu fortschreitet, dass Gasblasen vorzugsweise da zurückzubleiben pflegen, wo das Metall bereits seine Dünnflüssigkeit verloren hatte, und dass endlich im Augenblicke des völligen Erstarrens noch einmal eine lebhafte Gasentwickelung einzutreten pflegt, erklärt sich die Anordnung dieser Blasen in den Abgüssen. An der zuerst erstarrenden Kruste des Abgusses bildet sich ein Gasbläschen, welches — wie die Gasbläschen an den Wänden eines mit Wasser gefüllten Glases — hier sich ansetzt, zumal da die schon dickflüssige Beschaffenheit des Metalls das Aufsteigen erschwert. Die Erstarrung schreitet fort, mehr Gas wird entwickelt, das Gasbläschen wächst in radialer Richtung von aussen nach innen, vergrössert aber auch nach innen zu seinen Durchmesser, da die grössere Gasmenge immer nach den noch weichen Theilen des Abgusses, also nach innen, hingedrängt wird. So entsteht eine birnenartige Form der Gasblase mit wagerechter und rechtwinklig gegen die Abkühlungsfläche gerichteter Achse, bei sehr grossem Gasgehalte ein wurmartiger Kanal. Der Querschnitt durch

einen prismatischen Flusseisenblock mit mässiger Gasentwickelung besitzt demnach das Ansehen Fig. 259. Schneidet man dagegen den Flusseisenblock nach der Achsenrichtung durch, so gewahrt man die Blasen ebenfalls in Reihen, welche den äusseren Begrenzungsflächen annähernd parallel sind; eine beträchtliche Anhäufung von Gasblasen aber findet sich meistens oben, wo die noch aus dem vollständig flüssigen Eisen aufgestiegenen Gase von der bereits starren Decke zurückgehalten wurden (Fig. 260).

Fig. 260.



Trotz dieser Uebereinstimmung in der allgemeineren Anordnung der Gasblasen sind doch Unterschiede erkennbar, welche für die spätere Verwendung des Flusseisens nicht ohne Bedeutung sind und theils durch die Abweichungen der chemischen Zusammensetzung, theils durch die Temperatur des Metalls beim Eingiessen bedingt werden. Je dicker die Kruste erstarrten Metalls ist, welche sofort beim Eingiessen an den kalten Wänden der Gussform sich bildet, desto weiter liegen die Gasblasen von den Aussenflächen des Abgusses entfernt. Jene Kruste ist aber dicker, wenn das Metall in einer seinen Schmelzpunkt nicht erheblich übersteigenden Temperatur als wenn es in hoch erhitztem Zustande eingegossen wurde. Die chemische Zusammensetzung des Flusseisens spielt insofern eine Rolle hierbei, als ein Giessen in stark überhitztem Zustande um so leichter stattfinden kann, je niedriger die Schmelztemperatur liegt, welche von der chemischen Zusammensetzung abhängt. Daher findet man die Blasen bei Eisen mit höherem Kohlenstoff-, Silicium-, Phosphorgehalte durchschnittlich näher am Rande als bei solchem, welches an jenen Körpern arm ist. Für die spätere Verwendung des Flusseisens sind Gasblasen, welche näher der Mitte liegen, minder nachtheilig als die Gasblasen am Rande. Letztere treten, wenn das Eisen gestreckt wird, leicht zu Tage und bilden dann Schuppen an der Aussenfläche, welche beim Biegen aufsplittern, auch wohl bei der Bearbeitung sich ablösen und die Brauchbarkeit des Erzeugnisses benachtheiligen.

Auch in die Gasblasen treten mitunter ausgesaigerte Legirungen aus dem Muttereisen ein, welche jedoch meistens nur mit der Lupe oder dem Mikroskope erkannt werden können.[1] Der Vorgang besitzt wegen der Geringfügigkeit der Bildungen geringere Bedeutung als die Saigerung in Schwindungshohlräumen.

Findet beim Erstarren eines Abgusses gleichzeitig Gasentwickelung und die Entstehung eines Hohlraumes durch Schwindung statt, so

1) Abbildungen solcher Aussaigerungen in Blasenräumen in vergrössertem Maassstabe: „Stahl und Eisen" 1887, Blatt XII (Martens).

werden die Gase dorthin angesaugt. Das oben besprochene Lungern der Abgüsse kann dadurch behindert werden.

Die starke Benachtheiligung, welche die Brauchbarkeit alles Flusseisens durch solche undichte Stellen — Hohlräume im Innern — erleidet, ist von jeher eine dringende Veranlassung zum Aufsuchen von Mitteln gewesen, durch welche die Entstehung jener Fehler vermieden und dichte Güsse erzielt werden. Die für diesen Zweck angewendeten Mittel sind ziemlich vielseitig, und ihre Wahl muss von der Beschaffenheit des betreffenden Metalls wie von der Einrichtung der Gussform abhängig sein. Die wichtigsten dieser Mittel sollen ihrer Bedeutung nach in Folgendem erörtert werden.

1. Abminderung der Gasentwickelung durch Regelung der chemischen Zusammensetzung des Eisens. Es kommt hierbei zunächst in Betracht, dass Kohlenoxydbildung überhaupt nicht stattfinden kann, wenn im Eisen keine durch den Kohlenstoffgehalt des Eisens zerlegbaren Oxyde gelöst sind, und dass insbesondere die Anwesenheit von Eisenoxydul, welches am leichtesten unter den hier in Betracht kommenden Oxyden durch Kohle reducirt wird, die Kohlenoxydbildung befördert. Mit der Menge des sich entwickelnden Kohlenoxydes pflegt jedoch auch die Menge des aus seiner Lösung im Eisen austretenden und gasförmig entweichenden Wasserstoffs zu wachsen. Es kommt hier der den Chemikern bekannte Einfluss eines zweiten, in einer Flüssigkeit aufsteigenden Gases auf ein in der Flüssigkeit gelöstes Gas zur Geltung: letzteres, in diesem Falle der Wasserstoff, wird durch ersteres aus seiner Lösung ausgetrieben und mitgenommen.

Sodann hat die Beobachtung gelehrt, dass Eisen, welches Silicium oder Aluminium enthält, geringere Mengen von Wasserstoff entlässt, dass also die Gasentwickelung aus diesem Eisen schwächer ist, als wenn es frei von jenen Körpern ist (Seite 312).

Diese Thatsachen geben die Richtung des einzuschlagenden Weges an, wenn es sich um Regelung der chemischen Zusammensetzung des Flusseisens zum Zwecke einer Abminderung der Gasentwickelung handelt.

Je weniger Gelegenheit dem flüssigen Eisen gegeben ist, Eisenoxydul und Wasserstoff aufzunehmen, desto unbedeutender muss die Gasentwickelung ausfallen. Jene Gelegenheit ist am geringsten beim Schmelzen im Tiegel, und der Tiegelstahl liefert deshalb auch am leichtesten dichte Güsse. Vollständig ausgeschlossen ist sie jedoch auch hierbei nicht; durch die Poren des Tiegels können Verbrennungsgase in das Innere gelangen, Wasserdampf wird zerlegt, Wasserstoff gebildet, und die Gelegenheit zur Lösung von Wasserstoff ist gegeben.

Je kohlenstoffreicher das Eisen ist, desto weniger Eisenoxydul kann es enthalten (Seite 253), und desto weniger Wasserstoff pflegt es zu lösen (Seite 312); aber der Kohlenstoffgehalt muss von der in's Auge gefassten Verwendung des Eisens abhängig sein. Schwächer als Kohlenstoff aber beeinflusst ein gleich hoher Siliciumgehalt das chemische Verhalten, insbesondere die Festigkeitseigenschaften, des Erzeugnisses. Nun kann das Eisen selbst unter oxydirenden Einflüssen eine gewisse Menge Silicium zurückhalten, wenn die Temperatur sehr hoch ist und das Schmelzen auf kieselsäurereichem Boden stattfindet;

Kohlenstoff verbrennt hier vor dem Silicium (Seite 257). Beim Tiegelschmelzen aber kann in solcher Temperatur Silicium sogar reducirt und vom Eisen aufgenommen werden (Seite 284). Auch dieser Umstand erleichtert die Herstellung dichter Güsse aus Tiegelstahl; Bessemer- oder Martinmetall, in sehr hoher Temperatur auf saurem Boden erzeugt, pflegt aus demselben Grunde minder geneigt zur Gasentwickelung zu sein, als wenn die Temperatur weniger hoch und das Ofenfutter basisch war.

Dennoch ist man in fast allen Fällen, wo das geschmolzene Metall oxydirenden Einflüssen in starkem Maasse ausgesetzt war (Bessemer- und Thomasverfahren, Martinverfahren), gezwungen, durch einen geeigneten, vor dem Ausgiessen des übrigens fertigen Metalls gegebenen Zusatz das vorhandene Eisenoxydul zu zerstören und so viel als thunlich die Neigung zur Wasserstoffentwickelung abzumindern. Auch verhältnissmässig kohlenstoffreiches Eisen kann, wenn es unter stark oxydirenden Einflüssen entstanden und die Zeitdauer seines flüssigen Zustandes beschränkt war, bereits Eisenoxydul enthalten, welches, in starker Verdünnung im Eisenbade befindlich, nur allmählich durch den Kohlenstoffgehalt zerstört wird.

Der üblichste Zusatz zu diesem Zwecke ist Mangan, in Form von Eisenmangan oder Spiegeleisen angewendet. Eisenoxydul wird dadurch um so rascher zerstört, in je grösserem Ueberschusse das Mangan zugesetzt wird; zugleich wird durch den Manganzusatz der schädliche Einfluss eines etwa anwesenden Schwefelgehaltes verringert (Seite 645). Daher wird dem Flusseisen fast ausnahmslos ein Manganzusatz gegeben, wenn es im geschmolzenen Zustande oxydirenden Einflüssen ausgesetzt gewesen ist. Die Höhe des Zusatzes muss von dem Sauerstoffgehalte des Eisens abhängig sein; ein Sauerstoffgehalt von 0,25 Hunderttheilen, welcher nach Seite 253 das höchste erreichbare Maass bildet und nur im ganz kohlenstoffarmen Eisen auftreten kann, würde zu seiner Bindung, der Zusammensetzung des entstehenden Manganoxyduls gemäss, 0,86 Hunderttheile Mangan erheischen. In Wirklichkeit reicht fast immer schon ein geringerer Zusatz zur Erreichung des Zweckes aus, zumal da auch der Kohlenstoffgehalt der Eisenmanganlegirung bei der Zerstörung des Eisenoxyduls mitwirkt. Je schwefelreicher aber das Eisen ist, desto nothwendiger ist es, dass ein Ueberschuss von Mangan im Eisen zurückbleibe. Daher pflegt man den Manganzusatz so zu bemessen, dass das fertige Eisen mindestens noch 0,25 Hunderttheile Mangan enthält, und bisweilen geht der Mangangehalt über 1 Hunderttheil hinaus. Er darf um so weniger hoch sein, je höhere Ansprüche an die Zähigkeit des Eisens gestellt werden (Seite 669).

Vollständig wird jedoch die Gasentwickelung auch durch einen reichen Manganzusatz nicht beseitigt. Die Entwickelung von Wasserstoff wird durch den Manganzusatz überhaupt nicht, wie durch Silicium oder Aluminium, gehindert; aus dem gelöst gewesenen Eisenoxydul aber entsteht Manganoxydul, welches keinesfalls sofort ausgeschieden wird und der Einwirkung des im Eisen anwesenden Kohlenstoffs zwar schwieriger als Eisenoxydul, jedoch nicht vollständig widersteht, denn auch Mangan wird durch Kohle reducirt (Seite 296). Auch bei diesem Vorgange entsteht Kohlenoxyd, welches gasförmig entweicht. Es kommt

hinzu, dass die dem Eisenhüttenmanne zur Verfügung stehenden Eisenmanganlegirungen stets kohlenstoffhaltig sind, und dass ein Theil dieses Kohlenstoffgehaltes bei dem Zusatze zu dem sauerstoffhaltigen Metalle ebenfalls unter erneuter Kohlenoxydbildung verbrannt zu werden pflegt, wie soeben schon erwähnt wurde (vergleiche auch Seite 317). Obgleich die hierdurch hervorgerufene, oft sehr heftige Gasentwickelung nur kurze Zeit anzudauern pflegt, darf sie nicht ausser Acht bleiben, wenn man die Wirkung eines Manganzusatzes richtig beurtheilen will.

Neben dem Mangan giebt man daher nicht selten andere Zusätze, um die Erreichung des Zieles zu erleichtern. Häufig wird Silicium hierfür verwendet, welches neben seiner Einwirkung auf das anwesende Eisenoxydul auch unmittelbar durch seine Gegenwart die Wasserstoffentwickelung hindert. Während zur Bildung von Manganoxydul für je 1 Gewichtstheil Sauerstoff etwa 3,5 Gewichtstheile Mangan erforderlich sind, gebraucht die gleiche Menge Sauerstoff bei der Bildung von Kieselsäure nur 0,9 Gewichtstheile Silicium. Ein Zusatz von Silicium ohne Mangan, etwa in Form von manganarmem Siliciumeisen, würde aber erfahrungsmässig, auch wenn die Gasentwickelung dadurch geschmälert würde, das spätere Verhalten des Eisens schädigen. Der Thatsache, dass Silicium, welches dem sauerstoffhaltigen Eisen zugesetzt wird, nachtheiliger auf dessen Eigenschaften einwirkt, als ein Siliciumgehalt, der von vornherein in dem Eisen zugegen war, ist früher ausführliche Erwähnung geschehen (Seite 644, 651). Durch Mangan neben Silicium wird der übele Einfluss des letzteren gemildert; daher giebt man neben Siliciumeisen auch stets einen Zusatz von Manganeisen mit entsprechendem Manganüberschuss, oder man benutzt Silicium-Mangan-Eisenlegirungen (Seite 347). Immerhin ist bei der Bemessung des Siliciumzusatzes um so grössere Vorsicht geboten, je höhere Ansprüche an das Verhalten des Eisens, seine Schmiedbarkeit, Schweissbarkeit, Zähigkeit, gestellt werden. Bei Formgussstücken spielen diese Eigenschaften, insbesondere die ersteren beiden, eine minder wichtige Rolle als bei gewalztem oder geschmiedetem Eisen, während eine starke Gasentwickelung beim Giessen die Brauchbarkeit der Formgussstücke noch stärker in Frage stellt als die Verwendbarkeit der für die weitere Verarbeitung bestimmten Blöcke. Daher darf man bei Formgussdarstellung eher als beim Giessen von Blöcken einen reichlichen Siliciumzusatz geben.

Erfolgreich für Abminderung der Gasentwickelung ist ferner ein geringer Zusatz von Aluminium, welcher in neuester Zeit häufige Anwendung gefunden hat (Seite 307). Zur Bindung von 1 Gewichtstheil Sauerstoff, wobei Aluminiumoxyd Al_2O_3 (Thonerde) entsteht, sind 1,2 Gewichtstheile Aluminium erforderlich, etwa ein Drittel so viel als von Mangan und nicht viel mehr als von Silicium. Die chemische Verwandtschaft des Aluminiums zum Sauerstoff ist aber stärker als die des Mangans und Siliciums, und das entstehende Oxyd wird nicht wieder durch Kohle zerlegt. Diese Umstände sind von Belang. Mit geringerem Ueberschusse des Zusatzes und in kürzerer Zeit als bei Anwendung von Mangan ist man bei Anwendung von Aluminium befähigt, das anwesende Eisenoxydul zu zerstören, die Gasentwickelung

zu hindern. Während aber ein mässiger, im Eisen zurückbleibender Ueberschuss von Mangan etwaigen Rothbruch des Eisens abmindert, ohne erhebliche Nachtheile zu bringen, wirkt schon ein ziemlich geringer Ueberschuss von Aluminium schädlich. Er macht das Eisen dickflüssig, wodurch das Entweichen der bereits entstandenen Gase erschwert und somit das Zurückbleiben von Gasblasen im Innern des Eisens befördert wird, also das Gegentheil dessen, was man zu erreichen beabsichtigte; er verringert die Schmiedbarkeit (Seite 648), die Schweissbarkeit (Seite 654), erhöht die Sprödigkeit. Daher pflegt man nicht mehr als etwa 0,1 Hunderttheil Aluminium dem geschmolzenen Metalle zuzusetzen, bei Formgussdarstellung, wo jene Schädigung der Eigenschaften minder von Belang ist, etwas mehr, bei Herstellung von Blöcken, die für das Walzwerk bestimmt sind, eher etwas weniger, (0,06 Hunderttheile) und den Zusatz erst nach dem Manganzusatze zu geben, wenn sich zeigt, dass dieser nicht die volle gewünschte Wirkung gehabt hat. Man wendet das Aluminium meistens in reiner Form an (nicht als Eisenaluminium). Da es das Bestreben besitzt, vermöge seines geringen spezifischen Gewichtes an die Oberfläche des Metalls zu steigen, wo es dann nutzlos verbrennen würde, muss thunlichst Vorsorge getroffen werden, es unter der Oberfläche festzuhalten, bis es im Eisen sich gelöst hat.

2. Anwendung eines verlorenen Kopfes. Man versteht unter einem verlorenen Kopfe einen Aufsatz auf dem Abgusse, welcher für die Verwendung des letzteren ohne Belang ist und daher nach dessen Erkalten entfernt wird. Der einfachste und beim Giessen des Flusseisens am häufigsten vorkommende Fall ist der Guss eines prismatischen Blockes mit senkrechter Achse. Ist nun beispielsweise für irgend einen Zweck ein solcher Block erforderlich, dessen reine Höhe 500 mm betragen müsste, und man giesst ihn statt dessen 600 mm hoch, so hat er einen verlorenen Kopf von 100 mm Höhe, welcher auf der Drehbank oder in anderer Weise entfernt werden kann.

Ein solcher verlorener Kopf wirkt in mehrfacher Weise günstig.

Nach dem Giessen bildet sich an der Oberfläche des ruhig stehenden Metalls eine erstarrte Kruste, welche das Entweichen von aufsteigenden Gasen aus dem noch flüssigen Innern unmöglich macht. Alle diese Gasblasen sammeln sich in dem oberen Theile und machen diesen in stärkerem Maasse undicht (vergl. oben Fig. 260). Giebt man nun dem Abgusse einen verlorenen Kopf, so nimmt dieser die Gasblasen auf, und der eigentliche Abguss wird dichter.

Auch der Saugtrichter bei lungerndem Eisen bleibt im verlorenen Kopfe. Noch in anderer Weise jedoch wirkt der Kopf in diesem Falle wohlthätig. Er dient, so lange das Metall in seinem Innern ausreichend flüssig bleibt, als Behälter, aus welchem es nach unten fliesst, um die bei der Schwindung entstehenden Hohlräume auszufüllen; der Kopf wird also hohl und der darunter befindliche Abguss dicht. Diese Aufgabe vermag freilich der verlorene Kopf nur dann zu erfüllen, wenn er ausreichend lange warm bleibt, dass die Erstarrung früher im Abgusse als im Kopfe eintritt. Wo es auf grosse Dichtigkeit der Abgüsse ankommt, insbesondere bei Herstellung von Formguss, sucht man dieses Ziel zu erreichen, indem man dem Kopfe ein bedeutendes

Gewicht bei gedrungener Form giebt[1]); oder man sucht in anderer Weise den Kopf möglichst lange warm zu erhalten. Mitunter benutzt man zu diesem Zwecke auch beim Giessen von Blöcken als Gussform für den Kopf einen ringförmigen Aufsatz aus feuerfestem Materiale, welcher unmittelbar vor dem Giessen auf Weissgluth erhitzt worden war, dann auf die eigentliche Gussform aufgesetzt und sofort nach dem Giessen mit einem Deckel, welcher ebenfalls zum Weissglühen erhitzt worden war, bedeckt wird. Auch ein Nachgiessen flüssigen, hocherhitzten Eisens, sofern dieses zur Verfügung steht, in den allmählich abkühlenden Kopf, nachdem man die obere erstarrte Kruste durchstossen hat, ist von Nutzen und wird besonders häufig bei Formgussdarstellung angewendet.

Immerhin erfordert die spätere Entfernung des verlorenen Kopfes Arbeit, und der Kopf selbst kann nur durch erneutes Schmelzen (welches Brennstoffaufwand und Abbrand verursacht) wieder nutzbar gemacht werden. Wo daher nicht eine dringende Veranlassung zur Anwendung des verlorenen Kopfes vorliegt, sucht man sie gern zu vermeiden oder beschränkt wenigstens die Abmessungen des Kopfes auf die äussersten Grenzen.

3. Herstellung möglichst grosser Abgüsse. Das Mittel ist nur da anwendbar, wo die Abgüsse nicht als Fertigerzeugnisse, sondern als Zwischenstufen für die weitere Verarbeitung durch Walzen u. s. w. dienen, und wo ihre etwa erforderliche Zertheilung ohne Benachtheiligung ihrer Verwendbarkeit möglich ist. Wenn z. B. für Herstellung einer einzigen Eisenbahnschiene in gewöhnlicher Länge ein Flusseisenblock von 300 kg erforderlich ist, so kann man ebenso gut Blöcke für doppelte Schienenlängen zu 600 kg oder noch schwerere Blöcke für eine grössere Zahl Schienen giessen und später eine Theilung der Zwischen- oder Fertigerzeugnisse vornehmen. Aehnliche Fälle sind häufig.

Die Wirkung dieses Mittels beruht auf dem Umstande, dass, je grösser das Gewicht des Blockes ist, desto allmählicher die Erstarrung vor sich geht; jene plötzliche Gasentwickelung bei rascher Abkühlung wird hierdurch vermieden, und die entwickelten Gase können ruhiger entweichen.

Je grösser aber die gegossenen Blöcke sind, desto umfänglicherer Vorrichtungen bedarf es für ihre Verarbeitung. Die oben besprochenen Blockwalzwerke mit selbstthätigem Vorschube der Blöcke (Seite 750, 756) sind für die Verdichtung solcher schweren Flusseisenblöcke bestimmt, deren jeder später durchgetheilt zu werden pflegt, um dann in kleineren Stücken weiter verarbeitet zu werden.

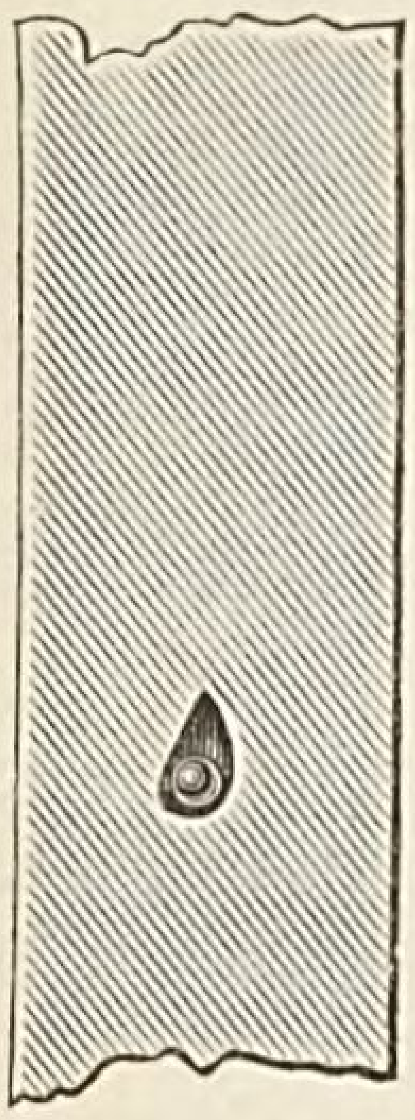
4. Giessen von unten (steigender Guss). Statt von oben her in die Gussform zu fallen, strömt das Metall durch einen Kanal in der Nähe des Bodens ein, um von hier in der Gussform emporzusteigen. Jener seitliche Zuleitungskanal muss etwas höher sein, als die Gussform, damit diese gefüllt werden kann, und er bleibt nach beendigtem Gusse mit Metall gefüllt, welches dort erstarrt.

1) Hinsichtlich der zweckmässigen Einrichtung des verlorenen Kopfes in den letzteren Fällen, deren Erörterung mehr in das Gebiet der Giessereikunde als der Eisenhüttenkunde gehört, muss auf die betreffende Literatur verwiesen werden; z. B. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Seite 306.

In mehrfacher Weise vermag solcher aufsteigender Guss die Erzielung dichter Abgüsse zu erleichtern.

Lässt man flüssiges Metall in eine hohe Gussform von oben her frei einstürzen, so zerstäubt das zuerst unten ankommende Metall in rasch erstarrende Körner, welche von dem nachfolgenden Metalle emporgehoben werden. Jedes dieser Körner ruft in seiner unmittelbaren Umgebung wiederum eine plötzliche Abkühlung und dadurch eine Gasentwickelung hervor, bietet aber zugleich dem sich entwickelnden Gasbläschen auch Gelegenheit zum Haften, d. h. verhindert es am Aufsteigen. Ueberziehen sich aber diese Körnchen, wie es vorkommen kann, mit einem Häutchen oxydirten Eisens, ehe sie von dem nachfolgenden Metalle aufgenommen werden, so vermag das Eisenoxyduloxyd oxydirend auf den Kohlenstoff des flüssigen Metalls zu wirken, und auch hierdurch entsteht ein Gasbläschen in der Umgebung des Körnchens. Auf der Bruchfläche solcher Abgüsse sieht man dann gewöhnlich jene Körnchen am Boden der birnförmigen oder rundlichen Gasblase (Fig. 261). Diese Körnerbildung und somit die Ursache zur Entstehung solcher Bläschen fällt weg, wenn das Metall vom Boden aus in gleichmässigem Strahle in der Gussform aufsteigt.

Fig. 261.



Bei Gussformen, welche von oben offen sind — die meisten Gussformen zur Herstellung prismatischer, für die weitere Verarbeitung bestimmter Blöcke sind offen —, wird durch das heftig einstürzende Metall Luft mit in die Gussform gerissen, welche neben den sich entwickelnden Gasen in dem Metalle zurückbleibt und Blasenbildung verursachen kann. Auch dieser Uebelstand wird vermieden, wenn man das Metall von unten her durch einen seitlichen Kanal zuströmen lässt, dessen Querschnitt so eng bemessen ist, dass er während des Giessens bis nahe zum Rande mit Metall gefüllt bleibt, eine Bedingung, deren Erfüllung auch in Rücksicht auf die zuerst erwähnte Aufgabe des steigenden Gusses nothwendig ist.

Endlich kommt in Betracht, und dieser Umstand ist besonders wichtig, dass die aufsteigende Bewegung des Metalls beim Giessen von unten das Entweichen der schon entwickelten, aber an der gebildeten Kruste haftenden Gasbläschen befördert. Auch in einem Wasserglase werden die an den Wänden haftenden Bläschen zum Aufsteigen gebracht, wenn das Wasser bewegt wird; und eine Bewegung nach oben muss am erfolgreichsten wirken.

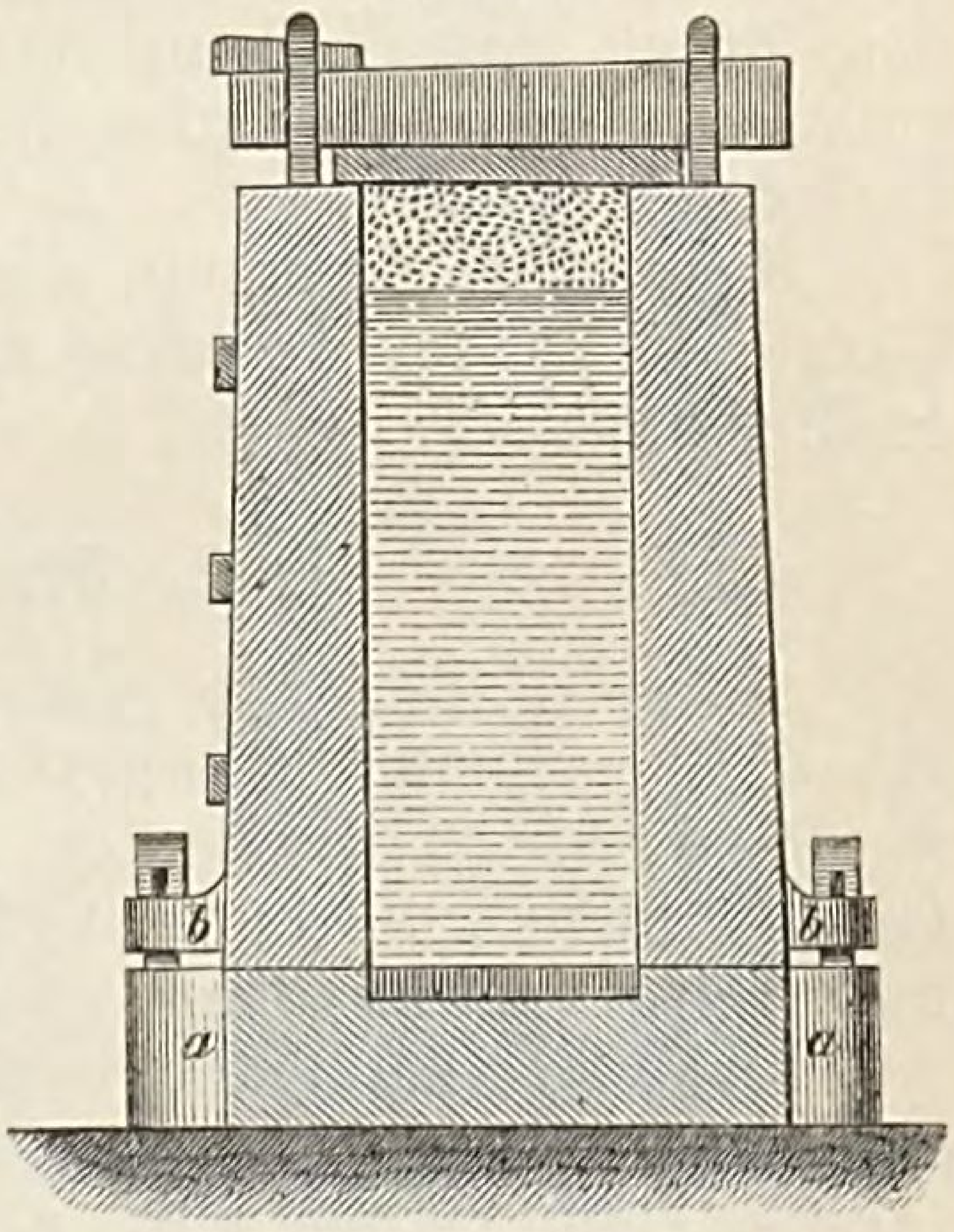
Bei der Herstellung von Formguss aus Flusseisen wird der Guss von unten zur Erhöhung der Dichtigkeit ziemlich oft angewendet; auch beim Gusse von Blöcken für die weitere Verarbeitung findet das Verfahren, trotz der daraus erwachsenden Mehrkosten, nicht selten Benutzung. Die Einrichtung der Gussformen wird allerdings umständlicher (vergl. unten: Gussformen), und das Metall, welches den Zuleitungskanal ausfüllt, kann nicht anders als durch erneutes Schmelzen zu gute gemacht werden; aber der entstehende Ausschuss wird geringer, und jene Mehrkosten werden nicht selten hierdurch ausgeglichen.

5. Erstarrenlassen des gegossenen Metalls unter hohem Drucke. Die Entwickelung der in einer Flüssigkeit gelösten Gase wird, wie bekannt ist, gehindert, wenn die Flüssigkeit einem entsprechend hohen Drucke ausgesetzt ist, und die bereits entwickelten Gase werden auf einen um so kleineren Raum zusammengedrängt, die Gasblasen im Innern werden also um so kleiner ausfallen, unter je stärkerem Drucke das Metall erstarrt.

Wiederholt hat man versucht, diese Wirkung eines auf dem Metalle lastenden Druckes zur Erzielung dichter Flusseisenblöcke nutzbar zu machen. Die angewendeten Mittel zur Erzeugung dieses Druckes aber waren ziemlich verschieden.

Ein einfaches und häufig angewendetes Mittel, um ein allzu starkes Steigen des in eine oben offene eiserne Gussform eingegossenen Flusseisens zu vermeiden, besteht darin, dass man die Gussform nicht ganz bis zum Rande mit dem flüssigen Metalle anfüllt, sondern einen Raum von 6—10 cm Höhe frei lässt, alsdann trockenen Sand, gepulverten Lehm oder Masse auf die Oberfläche des noch flüssigen Eisens schüttet, so dass die Schüttung bis etwas über den Rand der Gussform hinausragt, einen eisernen Deckel darauf legt und mit Keilen festzieht. Fig. 262 zeigt diese Einrichtung. Die schmiedeeisernen Bügel, durch welche der Keil hindurchgesteckt wird, sind in die Gussform eingegossen. Die Einrichtung ermöglicht allerdings nur die Erzielung eines beschränkten Druckes. Ist die Gasentwickelung sehr heftig, so kommt es vor, dass flüssiges Metall zwischen der Sandfüllung und dem Deckel herausgequetscht wird.

Fig. 262.



In dem Eisenwerke von Joseph Whitworth & Co. in Manchester wendet man Wasserdruck an, um die Gasentwickelung zu verhüten. Die Gussformen bestehen aus über einander gesetzten und unter einander verbundenen Stahlringen, ausgekleidet mit feuerfestem Futter, in welchem aufsteigende Kanäle für die entweichenden Gase angebracht sind. Die mit flüssigem Metall angefüllte Form wird auf einem fahrbaren Tische unter die Wasserdruckpresse geschoben, der senkrecht stehende, an der Unterseite mit feuerfester Masse bekleidete Druckkolben wird gesenkt und mit einem Drucke von mehr als 600 kg auf 1 qcm gegen die Oberfläche des Metalls gedrückt, welches diesem Drucke 20—45 Minuten, abweichend nach der Grösse des Blockes, ausgesetzt bleibt.

Die solcherart gepressten Blöcke zeigen in der Nähe der Achse gewöhnlich einen ziemlich beträchtlichen Hohlraum [1]), bei der Schwindung entstanden, deren Wirkung durch das Pressen nicht oder nur theilweise beeinträchtigt werden kann; der Hohlraum pflegt mit brenn-

1) Vergl. den unter Literatur erwähnten Bericht von W. Annable.

baren Gasen ausgefüllt zu sein, welche aus dem Metall austraten und sich hier sammelten. Der Erfolg des Pressens ist also keineswegs ganz vollkommen, und in dem genannten Eisenwerke wird das Verfahren hauptsächlich dann benutzt, wenn ringförmige Körper (Radreifen, Luftkessel u. s. w.) aus dem gegossenen Blocke hergestellt werden sollen und der mittlere undichte Theil durch Ausbohren entfernt wird. Bei der geraumen Zeit, während welcher die Blöcke dem Drucke ausgesetzt bleiben, würden für eine grössere Erzeugung gepresster Blöcke auch zahlreiche Pressen erforderlich sein, und die ganze Anlage würde dadurch ungemein kostspielig werden.

Versuchsweise hat man auch Dampf zur Erzeugung des Druckes benutzt[1]), oder Kohlensäure, aus einem Behälter mit flüssiger Kohlensäure entwickelt und über das eingeschlossene Metall geleitet.[2]) Der Erfolg dieser Mittel ist niemals so befriedigend gewesen, um zur dauernden Anwendung zu veranlassen; bei Anwendung oxydirender Gase als Druckmittel (Wasserdampf, Kohlensäure), welche in unmittelbare Berührung mit der Oberfläche des Metalls treten, lässt sich befürchten, dass durch das Eindringen der Gase in die Poren des Metalls Veränderungen hervorgerufen werden, welche dessen späteres Verhalten beeinträchtigen.

Somit ist überhaupt die Anwendung hohen, auf das erstarrende Metall wirkenden Druckes zur Erzielung dichter Güsse nur vereinzelt geblieben.

2. Die Giessvorrichtungen.

In den Fällen, wo grössere Mengen Flusseisen in einem gemeinschaftlichen Behälter hergestellt werden, um dann in verschiedene Gussformen vertheilt zu werden, pflegt man sich für letzteren Zweck einer Giesspfanne zu bedienen, welche das sämmtliche Metall aufnimmt und mit Hülfe von Krahnen nach den einzelnen Gussformen hin bewegt wird, um hier nach und nach entleert zu werden. Fig. 263 zeigt das Aeussere einer solchen Giesspfanne mit der darunter stehenden Gussform.[3]) Die Pfanne wird aus Eisenblech von etwa 10 mm Stärke gefertigt, vor dem Gebrauche mit einer 70 — 100 mm starken Schicht feuerfester Masse ausgestrichen oder mit feuerfesten Ziegeln ausgemauert, sorgfältig getrocknet und schliesslich bis zum beginnenden Rothglühen erhitzt, indem man sie in umgekehrter Lage über ein Koksfeuer oder eine Gasfeuerung stellt. Die Ausfutterung hält mehrere Güsse aus, muss aber nach jedesmaliger Benutzung der Pfanne nachgesehen und, wenn erforderlich, ausgebessert werden. Die Entleerung erfolgt durch eine Oeffnung im Boden in der Nähe der Wand, welche durch einen als Ventil wirkenden Stopfen verschlossen gehalten wird. In Fig. 263 ist die Stange *b*, an welcher der Stopfen *a* sitzt, soweit sie sich im Innern der Pfanne befindet, durch Punkte gezeichnet. Ober-

1) Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 329. D. R.-P. Nr. 12 073.

2) Bei Fr. Krupp versucht. D. R.-P. Nr. 17 056; „Stahl und Eisen" 1882, Seite 161.

3) Aus Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde.

halb des Pfannenrandes ist sie nach aussen umgebogen und an einem Schieber befestigt, welcher in Führungen *c* und *d* mit Hülfe des Handhebels *f* auf und ab bewegt werden kann, so dass man leicht im Stande ist, die Ausflussöffnung zu schliessen oder beliebig weit zu öffnen.

Fig. 264 zeigt die Einrichtung dieses Auslasses im vergrösserten Maassstabe. Im Boden der Pfanne ist unten eine entsprechend weite Oeffnung ausgespart und mit einem Ringe, welcher einen kurzen Auslassstutzen bildet, eingefasst. In diese Oeffnung kommt die aus feuerfestem Thon in einer eisernen Form gefertigte und gut gebrannte Hülse *i* und wird mit feuerfester Masse umstampft. In der schmiedeeisernen Ventilstange *b* wird der ebenfalls aus feuerfestem Thon gebrannte Stopfen *a* in der aus der Abbildung leicht erkennbaren Art und Weise befestigt. Die Stange selbst wird mit feuerfester Masse umkleidet und getrocknet. *l* ist der Schieber, in dessen Kopfe die Ventilstange mit Hülfe eines Bolzens befestigt wird; *c* und *d* sind, wie bei Fig. 263, die Führungen für den Schieber, *f* ist der Hebel zu dessen Bewegung.

Fig. 263.

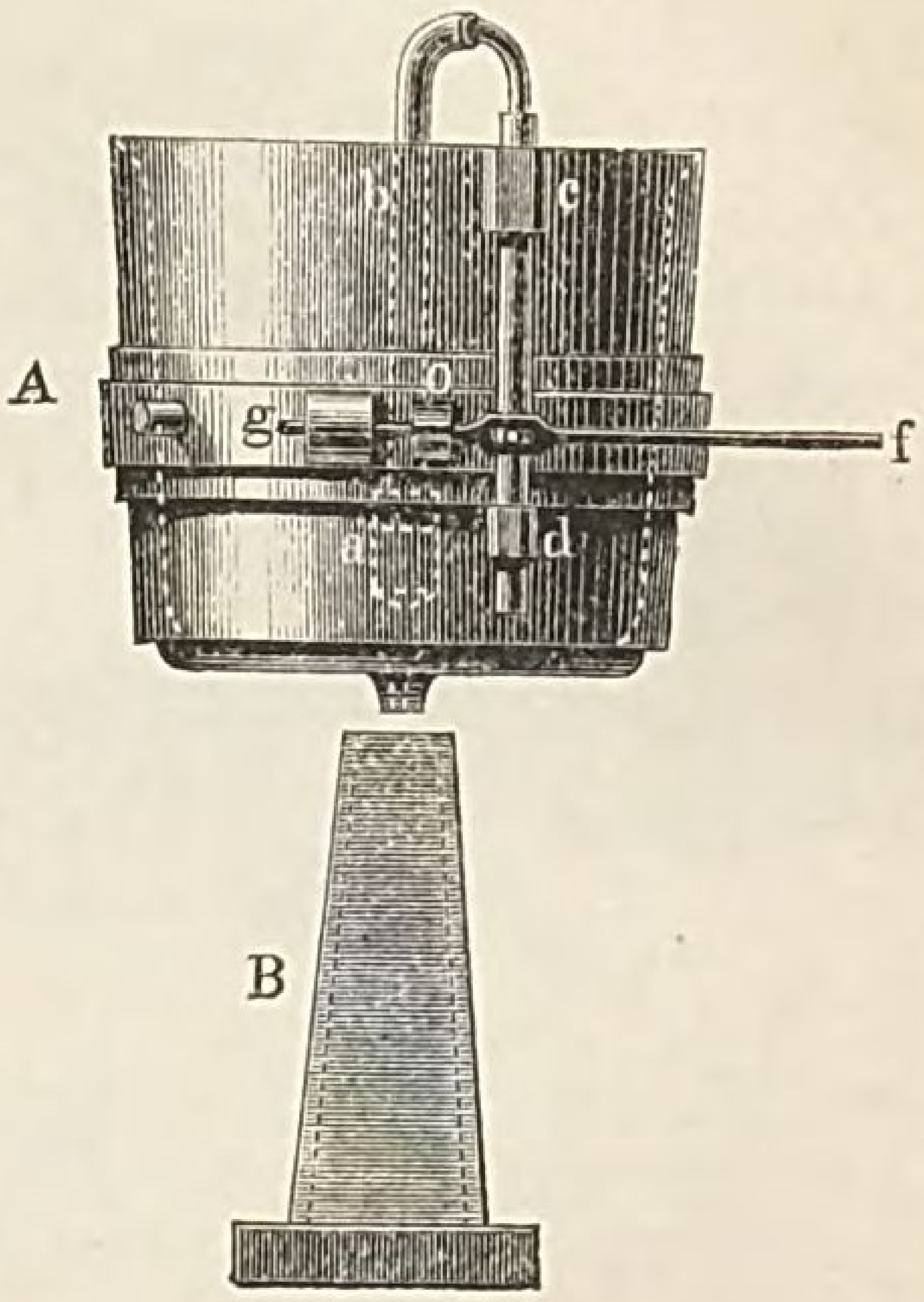
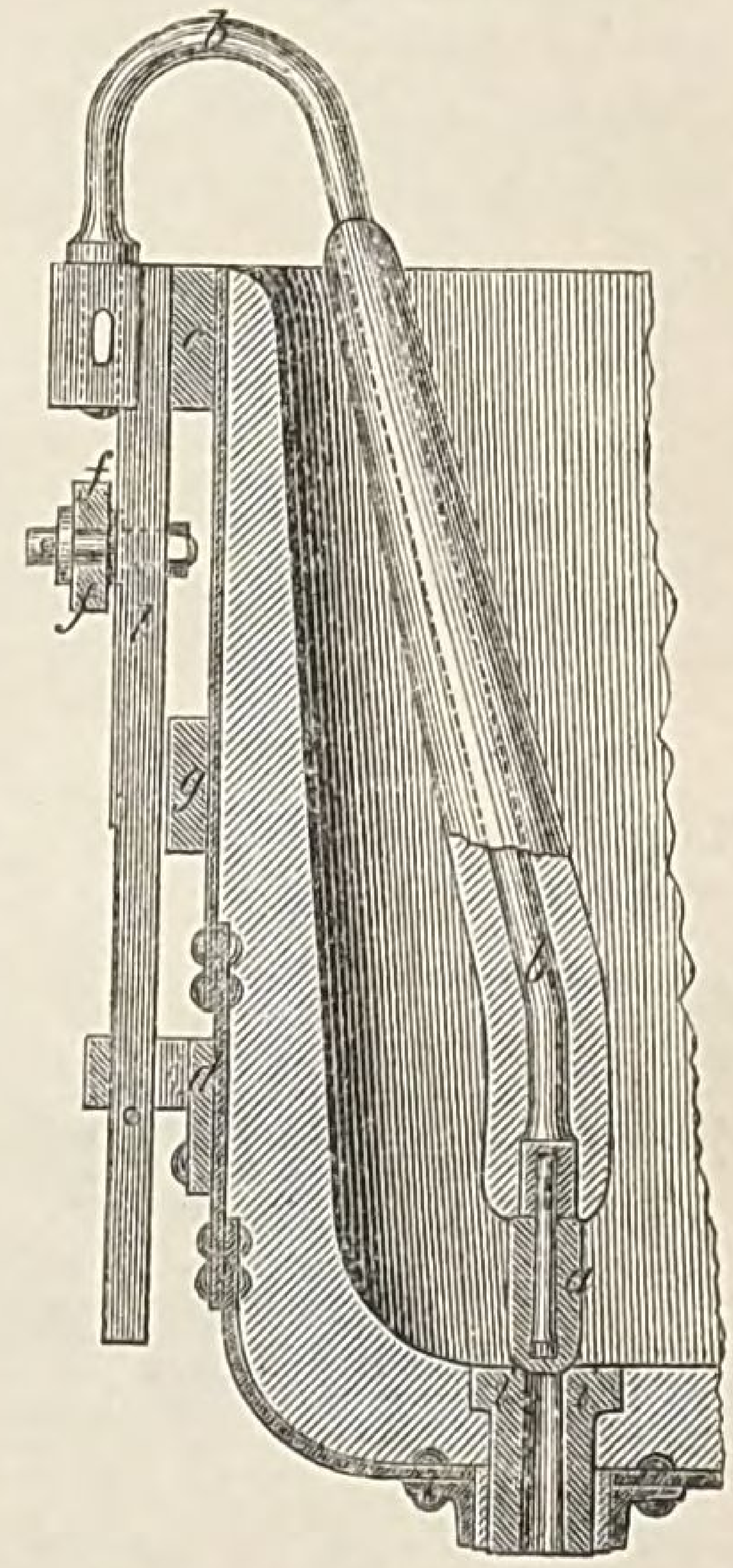


Fig. 264.



Ungefähr in der Mitte der Höhe der Pfanne ist ein starker schmiedeeiserner Ring *g* (Fig. 263 und 264) befestigt, an welchem zwei zum Tragen der Pfanne dienende Zapfen sich befinden.

Diese Giesspfanne kann nun, wie es in Eisengiessereien üblich ist, mit Hülfe eines gewöhnlichen Hand- oder Dampfkrahnes (Lauf- oder Drehkrahnes) bewegt werden; in Anbetracht der im Laufe eines Tages in den Flusseisenwerken sich vielfach wiederholenden Benutzung der Giesspfanne und der grossen Unglücksfälle, welche bei Anwendung gewöhnlicher Krahne durch Reissen einer Kette oder durch das Schwanken der in Ketten hängenden Giesspfanne herbeigeführt werden können, zieht man es jedoch hier meistens vor, Hebevorrichtungen mit Wasserdruck anzuwenden, deren Bewegung gleichmässiger und bei denen die Anwendung von Ketten oder Seilen ganz ausgeschlossen ist.

In jedem Falle muss der für diesen Zweck dienende Wasserdruck-Krahn ein Heben und Senken der Pfanne um ein gewisses, wenn auch nicht sehr beträchtliches Maass gestatten, damit die Pfanne sowohl während der Aufnahme des flüssigen Metalls aus dem Ofen als während der Entleerung in Gussformen von verschiedener Höhe leicht in die geeignete Stellung hierfür gebracht werden kann. Ausserdem ist eine Vorwärtsbewegung in wagerechter Ebene erforderlich.

Nach der Art und Weise, wie diese wagerechte Bewegung ausgeführt wird, lassen sich zwei verschiedene Gattungen dieser Giesskrahne unterscheiden.

Fig. 265.

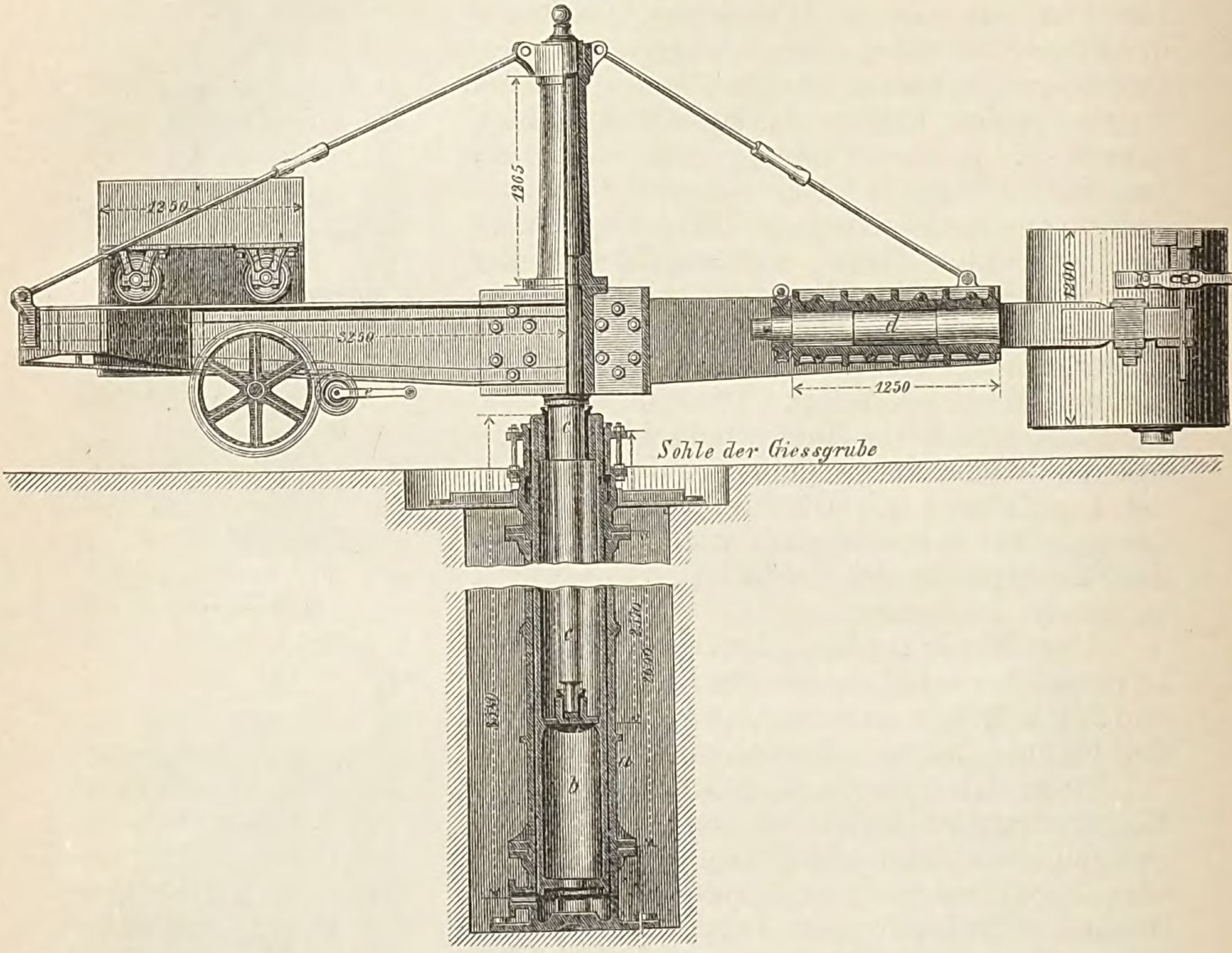
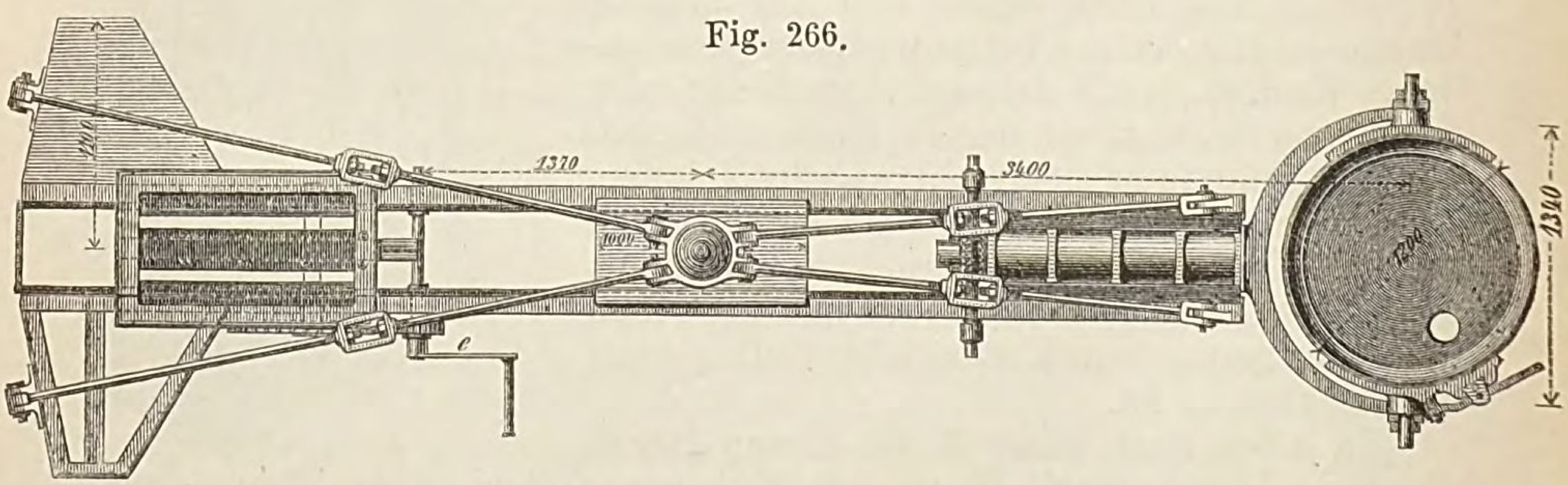


Fig. 266.



Bei der älteren Gattung ist der Krahn als Drehkrahn eingerichtet, d. h. die Pfanne befindet sich an dem vorderen Ende eines wagerechten Armes oder Auslegers, welcher auf dem Kopfe des senkrecht beweglichen Druckkolbens befestigt ist und um diesen im Kreise herumbewegt werden kann. Die anzufüllenden Gussformen werden im Kreise

in einer etwa 1—1,3 m tiefen, kreisförmigen durch Mauerwerk begrenzten Vertiefung des Bodens aufgestellt, in deren Mittelpunkte der Druckcylinder, eingelassen im Boden, sich befindet, und durch Drehung des Krahnarmes wird die Pfanne nach einander über die verschiedenen Gussformen gebracht.

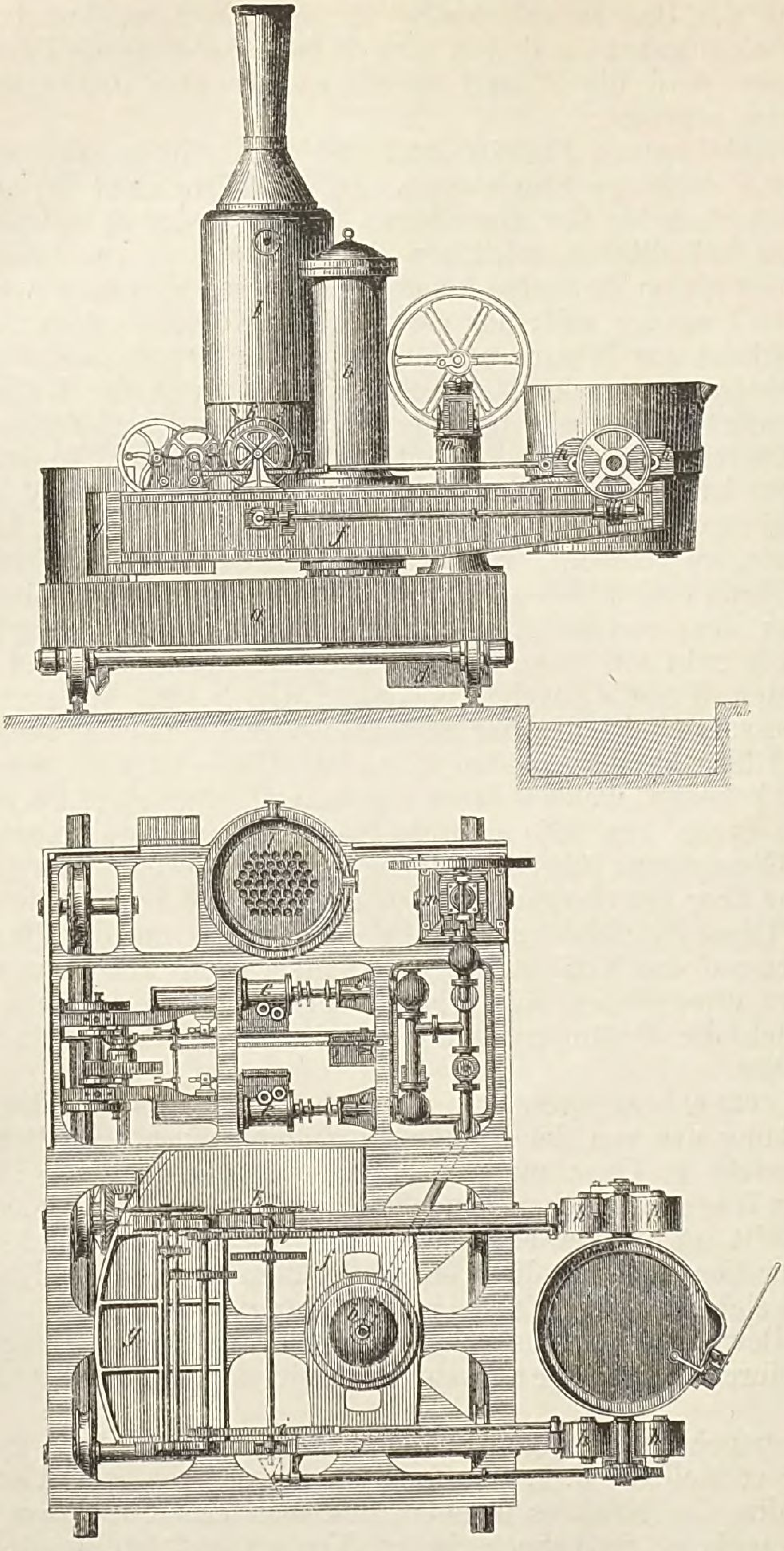
Die Abbildungen Fig. 265 und 266 zeigen in $^1/_{60}$ der wirklichen Grösse eine derartige Einrichtung. In der Mitte steht in einem ausgemauerten Schachte der gusseiserne Druckcylinder *a*, welchem durch den unten befindlichen seitlichen Rohrstutzen das von einer Druckpumpe oder einem Sammler kommende Wasser zugeführt wird, wenn der Kolben *b* steigen soll; das Gewicht des Kolbens sammt seiner Belastung drückt das Wasser aus dem Cylinder heraus, sobald der Zulass geschlossen, der Auslass geöffnet wird, und der Kolben sinkt. Die Führung des Kolbens in einer Stopfbüchse des Cylinders ergiebt sich mit ausreichender Deutlichkeit aus der Abbildung. In dem hohlen Kolben nun ist die senkrechte Welle *c* drehbar gelagert, und an dieser ist das aus zwei parallelen Eisenblechträgern gebildete Querhaupt (der Krahnausleger) befestigt, welches noch durch vier Anker in der aus der Abbildung ersichtlichen Art und Weise in seiner Lage festgehalten wird. An dem rechten Arme des Auslegers ist die Giesspfanne befestigt. Sie ruht mit ihren Zapfen in einem kräftigen Bügel an einer wagerechten Welle *d*, welche zwischen den beiden Trägern in einer langen Gusseisenhülse drehbar gelagert ist. Auf dem entgegengesetzten, aus der Hülse herausragenden Ende der Welle ist ein Schneckenrad (Fig. 265) befestigt, welches durch den Eingriff einer oberhalb gelagerten Schnecke (verg. Fig. 266) gedreht werden kann und seine Drehung auf die Giesspfanne überträgt. Die Schnecke erhält ihre Bewegung durch eine über das vierkantig geschmiedete Ende ihrer Welle gesteckte Kurbel. Diese Einrichtung ist nothwendig, theils um die Pfanne beim Anwärmen auf den Kopf stellen zu können, theils auch, um eine Entleerung zu ermöglichen, falls einmal bei zu niedriger Temperatur des Eisens sich die Oeffnung im Boden mit erstarrtem Metalle zugesetzt haben sollte.

Auf dem entgegengesetzten Arme des Auslegers befindet sich zur Ausgleichung des von der Pfanne ausgeübten einseitigen Druckes ein Gegengewicht in Form eines vierrädrigen, eisernen, nach Bedarf beschwerten Wagens, welcher, je nachdem die Pfanne stärker oder weniger stark gefüllt ist, weiter oder näher von dem Mittelpunkte eingestellt wird. Zur Verschiebung dient eine unter dem Wagen befindliche Zahnstange, welche von der Kurbel *e* aus bewegt wird.

Die Bewegung des Auslegers im Kreise wird bei dem abgebildeten Krahne durch Haken bewerkstelligt, mit denen Arbeiter die Arme erfassen.

Bei manchen derartigen Krahnen ist die Pfanne auch in radialer Richtung verstellbar, d. h. man kann sie in verschiedenen Abstand vom Mittelpunkte des Krahnes bringen, und man erhält dadurch die Möglichkeit, mehrere in concentrischen Kreisen aufgestellte Reihen von Gussformen damit anzufüllen. Die Vorrichtung zur Bewegung hierbei ist dann ähnlich wie bei der Pfanne des unten abgebildeten und beschriebenen Krahnes Fig. 267 und 268.

Fig. 267 und 268.



Ein solcher Drehkrahn hat den Vortheil einfacher Anordnung und einfacher Handhabung. Je grösser aber die Zahl der Gussformen ist, welche aus der Pfanne gefüllt werden sollen, desto grösser muss der

Durchmesser des Kreises sein, in welchem sie aufgestellt werden, und der grössere Kreis bedeutet nicht allein einen Mehrverbrauch an Grundfläche innerhalb des Giessraumes, welcher für andere Zwecke verloren geht[1]), sondern vertheuert auch nicht unerheblich die Herstellung des Krahnes. Diese Uebelstände steigern sich, wenn ein sehr rascher Betrieb stattfindet, so dass schon eine zweite Reihe Gussformen aufgestellt sein muss, ehe die zuvor gefüllten entleert und entfernt werden konnten, man also den doppelten oder dreifachen Raum als im andern Falle verfügbar haben muss.

Unter solchen Verhältnissen hat man bei neueren Anlagen mit Vortheil die zweite Gattung von Giesskrahnen zur Anwendung gebracht: Rollkrahne, welche auf Schienen geradlinig fortbewegt werden und solcherart eine beliebig lange Reihe von Gussformen zu bedienen im Stande sind. Ein derartiger grösserer Rollkrahn, von der Märkischen Maschinenbauanstalt in Wetter a. d. Ruhr in den achtziger Jahren gebaut, ist in Fig. 267 und 268 abgebildet.

Auf dem starken, von sechs Stahlrädern getragenen Wagen befindet sich der Wasserdruckcylinder *b*, dessen hohler Kolben auf dem Wagen feststeht, während der Cylinder gehoben wird, sobald durch den Kolben Wasser zugeleitet wird. Die Zuführung erfolgt durch die beiden Pumpen *cc*, welche das Wasser aus dem unter dem Wagen befindlichen Behälter *d* entnehmen und von der mit ihnen gekuppelten, in Fig. 268 sichtbaren Zwillingsdampfmaschine aus betrieben werden. Auch die Rohrleitung hierfür ist in Fig. 268 sichtbar.

An dem Druckcylinder ist nun das Querhaupt oder der Ausleger *f* befestigt, um mit ihm gehoben und gesenkt zu werden. Er ist ähnlich wie derjenige des vorigen Krahnes aus schmiedeeisernen Trägern mit entsprechenden Verbindungsstücken hergestellt und gestattet eine Drehung im Kreise um 180 Grad für den Fall, dass, wie es häufig vorkommt, die Gussformen an der einen Seite des Wagens, die Oefen an der anderen Seite sich befinden. Das vordere Ende des Auslegers trägt die Giesspfanne, das andere, nach rückwärts verlängerte Ende dient zur Aufnahme des Gegengewichtes *g*.

Der Abstand der Giesspfanne vom Druckcylinder ist veränderlich gemacht, so dass man unter Umständen zwei Reihen Gussformen damit anfüllen kann. Zu diesem Zwecke ruht die Pfanne mit ihren Zapfen in zwei kleinen Wagen *h*, welche mit wagerechten Zugstangen gekuppelt sind. Letztere endigen in je einer Zahnstange, und beide Zahnstangen lassen sich von dem Griffrade *k* aus durch Vermittelung der in Fig. 268 sichtbaren Getriebe leicht vor- oder rückwärts bewegen, hierbei die Giesspfanne mitnehmend. Die Verstellbarkeit der Giesspfanne in wagerechter Linie beträgt 1 m, die Hubhöhe des Auslegers ebenfalls 1 m.

Das Kippen der Pfanne geschieht durch Vermittelung einer Schnecke, welche in ein auf dem einen Zapfen der Pfanne befestigtes Schneckenrad eingreift. Beide Abbildungen lassen diese Einrichtung erkennen. Die Welle der Schnecke ist in ihren Lagern verschiebbar, so dass

1) Man vergegenwärtige sich, dass die Fläche des Kreises im quadratischen Verhältnisse mit seinem Halbmesser zunimmt.

ihr Eingriff auch bei geänderter Stellung der Pfanne unbeeinträchtigt bleibt.

Die Kolbenstangen der schon erwähnten Dampfcylinder *ee* sind nach rückwärts verlängert und wirken hier durch Schubstangen und Kurbeln auf Getriebe, von welchen aus das mittlere Laufräderpaar des Wagens Drehung empfängt, sobald Vorwärtsbewegung auf den Schienen stattfinden soll (Fig. 267). Die anderen zwei Laufräderpaare wirken als Rollen ohne selbständige Bewegung. Mit Hülfe einer Klauenkupplung kann diese Bewegung leicht ausgerückt werden, wenn der Wagen stehen, die Maschine aber zum Betriebe der Pumpen benutzt werden soll.

l ist ein senkrechter Röhrenkessel zur Erzeugung des erforderlichen Dampfes. *m* ist eine Dampfpumpe, theils zur Speisung des Kessels bestimmt, theils auch an Stelle der schon erwähnten Pumpen zur Zuführung von Druckwasser nach dem Krahne dienend, während die Dampfmaschine *e* zur Bewegung des Wagens benutzt wird und jene Pumpen ausgerückt sind. Die Zuführung von Wasser durch die Pumpe *m* beschränkt sich hierbei auf den Ersatz des durch die Stopfbüchse des Druckkolbens entweichenden Wassers, um ein Sinken des Cylinders zu verhindern.

Der abgebildete Krahn ist für eine Tragfähigkeit von 10 t berechnet; der von den Pumpen ausgeübte Druck beträgt 20 kg auf 1 qcm. Die Dampfmaschine und Räderwerke sind durch geriffelte Bleche, mit denen der Wagen belegt ist, gegen Beschädigung durch umhersprühende Funken, Schlackentheilchen u. s. w. geschützt.

Auch für kleinere Betriebe hat man in den letzten Jahren vielfach solche Rollkrahne eingeführt, deren Bewegung in Anbetracht der geringeren erforderlichen Leistung lediglich durch Handbetrieb (Kurbel und Getriebe) erfolgt. Wenn ein Heben und Senken der Pfanne nicht erforderlich ist, genügt auch ein einfacher Giesswagen, auf dem die Pfanne in Zapfen hängt. Die Giessformen werden dann in einer Vertiefung unterhalb des Wagens aufgestellt.[1])

3. Die Gussformen.

Nach der Beschaffenheit des für die Gussformen verwendeten Materiales lassen sich zwei Gruppen unterscheiden.

Die eine umfasst solche Gussformen, welche aus einem bildsamen, nichtmetallischen Materiale mit Hülfe eines Modells oder einer Schablone hergestellt — „geformt“ — wurden. Sie finden da Verwendung, wo man den schon erwähnten Formguss erzeugen will, Gusswaaren, die, ohne eine weitere Veränderung ihrer Form durch Walzen, Schmieden, Pressen zu erfahren, sogleich als Fertigwaare, als Gebrauchsgegenstände dienen können. Man giesst in dieser Weise zahlreiche Bau- und Maschinentheile, welche eine grössere Festigkeit erhalten sollen, als das Gusseisen besitzt, Getriebe, Kurbeln, Laufräder, Schiffssteven

1) Abbildung eines solchen Giesswagens: „Stahl und Eisen“ 1890, Tafel XVI; eines Giesswagens, welcher sowohl für Hand- als für Dampfbetrieb eingerichtet ist: „Stahl und Eisen“ 1892, Tafel XII.

von oft ansehnlichem Gewichte, Presscylinder und viele andere Gegenstände.[1])

In diesen Fällen ist es also besonders wichtig, dichten, von Hohlräumen freien Guss zu erzielen, und die oben erwähnten Mittel zur Erreichung dieses Zieles, insbesondere die Regelung der chemischen Zusammensetzung und Anwendung eines verlorenen Kopfes, müssen hier mit doppelter Sorgfalt zur Anwendung gebracht werden.

Metallene Gussformen würden für diesen Zweck unverwendbar sein. Theils würde in zahlreichen Fällen die sofort nach dem Giessen eintretende Schwindung innerhalb der Gussform gar nicht möglich sein, ohne dass ein Zerreissen des Abgusses stattfände, theils würde die raschere Abkühlung, welche innerhalb der metallenen Gussform stattfindet, auch eine heftigere Gasentwickelung zur Folge haben, und es würde schwieriger sein, dichte Güsse zu erzielen; ja, in Anbetracht der verhältnissmässig dünnen Querschnitte, welche viele solcher Abgüsse besitzen, würde eine vollständige Ausfüllung der Gussform oft durch die vorzeitige Erstarrung des eingegossenen Metalls unmöglich gemacht werden.

Das seit Jahrhunderten ausgebildete Verfahren der Gusswaarendarstellung aus Roheisen zeigte den Weg zur Auswahl eines geeigneten Formmateriales auch für diesen Zweck; aber die höhere Temperatur des geschmolzenen schmiedbaren Eisens machte strengere Anforderungen als dort an die Beschaffenheit des Materiales erforderlich. Gussformen aus nassem Formsande, die, ohne getrocknet zu werden, in den Eisengiessereien vielfache Verwendung finden, sind für diesen Fall nicht benutzbar. Man muss ein Material wählen, welches, nachdem es im feuchten und dadurch bildsamen Zustande geformt wurde, eine starke Trocknung in hoher Temperatur erträgt, ohne an Festigkeit zu verlieren.

Das üblichste Formmaterial ist Masse (Seite 164), bestehend aus feuerfestem Thon mit Zusatz von so viel Magerungsmitteln, dass er die Eigenschaft verliert, beim Trocknen zu schwinden. In Rücksicht auf den Umstand, dass die Menge des frisch zugesetzten Thones weit hinter der Menge der als Magerungsmittel dienenden Körper zurückzustehen pflegt, lässt sich die Masse auch bezeichnen als ein Gemisch von feuerfesten, beim Trocknen und Brennen nicht schwindenden Körpern in Körnerform, insbesondere von schon gebranntem, feuerfestem Thon, mit so viel frischem Thon, dass das Ganze, mit etwas Wasser angefeuchtet, Bindekraft bekommt, d. h. sich formen lässt. Man pflegt als Grundbestandtheil für die Bereitung der Masse die schon benutzten

1) Bis zur Mitte dieses Jahrhunderts verstand man nicht, flüssiges schmiedbares Eisen durch Giessen zu Gebrauchsgegenständen zu verarbeiten. Die Gasentwickelung beim Giessen, die starke Schwindung, endlich auch die hohe Schmelztemperatur des Metalls, welche beim Eingiessen in Formen eine rasche Erstarrung herbeiführt, die vollständige Ausfüllung der Gussformen erschwert und die Herstellung von ausreichend widerstandsfähigen Gussformen schwieriger macht, stellten sich einer solchen Verwendung des Eisens (Stahles) entgegen. Die Bochumer Gussstahlfabrik war es, welche zuerst diese Schwierigkeiten überwand und im Jahre 1851 aus Stahl gegossene Glocken lieferte. Auf der Gewerbeausstellung zu Düsseldorf im Jahre 1852 erhielt das genannte Eisenwerk für solche Glocken die silberne Preismünze.

Einiges Nähere über die jetzige Verwendung des Flusseisenformgusses und die Eigenschaften der Gussstücke findet der Leser in „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 452.

Gussformen zu verwenden, d. h. alte Masse, welche durch das stattgehabte Brennen die Eigenschaft zu schwinden, zugleich aber die Fähigkeit verloren hat, durch Befeuchtung mit Wasser bildsam zu werden; auch gemahlene Schmelztiegelscherben und dergleichen mehr. Hierzu fügt man so viel frischen feuerfesten Thon, als eben erforderlich ist, das Gemenge bildsam zu machen. Mitunter setzt man gewisse Mengen Graphit, Holzkohle oder Koks dem Gemische zu. Man beabsichtigt damit, theils die Masse durchlässiger für Gase, nachgiebiger für die Schwindung des Metalls zu machen, theils auch das Zusammensintern und das Festbrennen der Masse an dem Abgusse zu erschweren.

Die Masseformen werden nach ihrer Herstellung in besonderen Trockenkammern getrocknet und mitunter bis zur beginnenden Rothgluth erhitzt, um den Wassergehalt zu verflüchtigen. Man pflegt in die noch warme Gussform das Metall einzugiessen.

Als Gussformmaterial für das Giessen von Flusseisen mit hoher Schmelztemperatur wendet man auch mit Vortheil möglichst reinen Quarzsand an, dem man durch Zusatz organischer Körper (Melasse, Mehl oder dergleichen) die nöthige Bildsamkeit verleiht.

Die Herstellung der Gussformen aus den erwähnten Materialien geschieht im Wesentlichen in derselben Weise wie die Herstellung der Gussformen in den Eisengiessereien. Eine Beschreibung des betreffenden, rein mechanischen Verfahrens gehört nicht in den Rahmen des vorliegenden Werkes und kann in jedem Handbuche der Eisengiesserei nachgesehen werden.

Wie schon oben angedeutet wurde und leicht erklärlich ist, wächst die Schwierigkeit der Herstellung brauchbarer Gussformen mit der Schmelztemperatur des zum Gusse bestimmten Metalls; die Schmelztemperatur aber steigt in demselben Maasse, wie der Kohlenstoffgehalt abnimmt. Während für die kohlenstoffreichsten, dem Roheisen nahe stehenden Stahlsorten eben solche Gussformen wie zum Giessen des Gusseisens sich benutzen lassen und man aus solchem Stahle bisweilen sogar Abgüsse in gewöhnlichem, nicht getrocknetem Formsande darstellt, sind für kohlenstoffärmeres, weniger hartes, aber auch weniger sprödes Eisen nur Gussformen brauchbar, welche den höchsten Grad von Unschmelzbarkeit besitzen. In den ersten Jahrzehnten, nachdem man gelernt hatte, Gusswaaren aus schmiedbarem Eisen durch unmittelbares Eingiessen in Formen zu erzeugen, beschränkte man aus jener Ursache die Anwendung des Verfahrens auf die Verarbeitung des eigentlichen Stahles, dessen Kohlenstoffgehalt selten erheblich weniger als 1 Hunderttheil zu betragen pflegte; erst allmählich hat man gelernt, auch kohlenstoffärmeres Eisen (0,3 Hunderttheile Kohlenstoff oder noch darunter) zu Gusswaaren zu verarbeiten.

Die Gussformen aus bildsamem Material aber, welche für Formgussdarstellung unentbehrlich sind, lassen sich nur für einen einmaligen Guss benutzen. Beim Gusse selbst wie bei der Schwindung des Metalls und dem Herausnehmen des Abgusses werden sie beschädigt, und für jeden neuen Guss müssen sie — wie es ja auch bei der Herstellung von Abgüssen aus anderen Metallen in derartigen Gussformen der Fall ist — neu hergestellt werden.

Der zuletzt erwähnte Nachtheil der Gussformen aus bildsamem

Materiale — ihre nur einmalige Benutzungsfähigkeit — ist bei der zweiten Gruppe von Gussformen vermieden, welche aus Gusseisen oder auch aus Stahl gegossen werden. Sie ermöglichen nur die Herstellung ganz einfach gestalteter Abgüsse, deren Zusammenziehung nach dem Gusse nicht durch die Wände der Gussform behindert ist, und deren Querschnittsabmessungen reichlich genug sind, dass nicht vorzeitige Erstarrung des eintretenden Metalls eintrete, ehe die Gussform ausgefüllt ist. Man benutzt sie deshalb ausschliesslich zur Herstellung jener Blöcke, welche für die weitere Verarbeitung durch Hämmern oder Walzen bestimmt sind.

Man pflegt diesen Blöcken vierseitigen Querschnitt mit abgerundeten Ecken zu geben. Der obere Durchmesser ist ein wenig kleiner als der untere, wodurch das Abheben der Gussform von dem erstarrten Blocke erleichtert wird, und letzterer besitzt daher die Form einer abgestumpften Pyramide, deren Seitenflächen jedoch so schwach geneigt sind, dass eine fast prismatische Form entsteht.

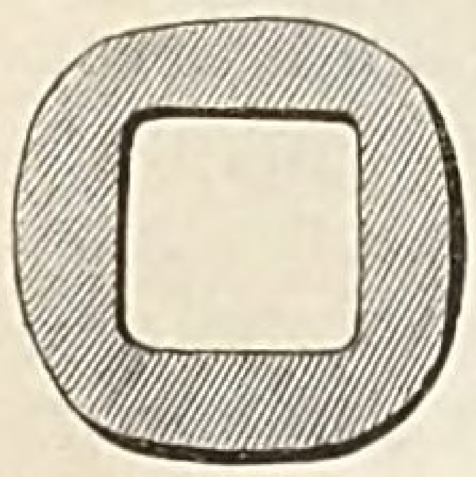
Nicht ohne Wichtigkeit ist das Verhältniss des Durchmessers des Blockes zur Höhe. Nimmt man für ein vorgeschriebenes Gewicht den Durchmesser klein im Verhältniss zur Höhe, so wird dadurch die spätere Arbeit des Ausstreckens auf einen geringeren Querschnitt verringert, aber es ist in den dünneren Querschnitten schwieriger, dichten Guss zu erzielen, und jene Verbesserung der Eigenschaften des Eisens, welche mit der mechanischen Verarbeitung Hand in Hand geht, fällt geringer aus, wenn diese Verarbeitung eingeschränkt wird. Giesst man umgekehrt den Block allzu dick bei geringerer Höhe, so vertheuert man nicht allein die spätere Bearbeitung, sondern es können auch — besonders beim Giessen harten Stahles — infolge der grösseren Schwindung des Umfanges Risse an den äusseren Flächen entstehen, welche unter Umständen den Block unbenutzbar machen. Gewöhnlich ist das Verhältniss der Breite (Seitenlänge) zur Höhe des Blockes annähernd wie 1 : 2, wobei man dann für die Höhe der Gussform noch etwa 10 cm hinzuzurechnen pflegt, damit diese nicht ganz bis zum Rande gefüllt zu werden braucht, um das erforderliche Metall aufzunehmen. Im Uebrigen spricht die spätere Verwendung der Blöcke, die Grösse der vorhandenen Kaliber u. s. w. hierbei mit.

Eine Gussform für Flusseisenblöcke erhält demnach ihre einfachste Gestalt, wenn man sie in einem Stücke, oben und unten offen, herstellt und beim Giessen eine ebene Platte als Unterlage der Gussform benutzt. Wo die Gussformen nicht verkeilt werden sollen oder wo die Anwendung eines andern Mittels zur Erzielung von Druck nach dem Giessen nicht beabsichtigt ist, genügt eine solche einfache Einrichtung der Gussformen vollständig ihrem Zwecke.

Soll aber Druck von oben her angewendet werden, etwa durch Aufschütten von Sand und Festkeilen eines Deckels, so muss die Gussform mit einem besonderen Boden versehen sein, der fest mit ihr verbunden werden kann. Die auf Seite 851 abgebildete Gussform Fig. 262 ist in dieser Weise eingerichtet. Das Bodenstück ist mit seitlich angegossenen Ohren *a* versehen, in welchen schmiedeeiserne, aufrecht stehende Dübel befestigt sind. Letztere endigen oben in einem vierseitig geschmiedeten, mit Keilöffnung versehenen Kopfe, welcher

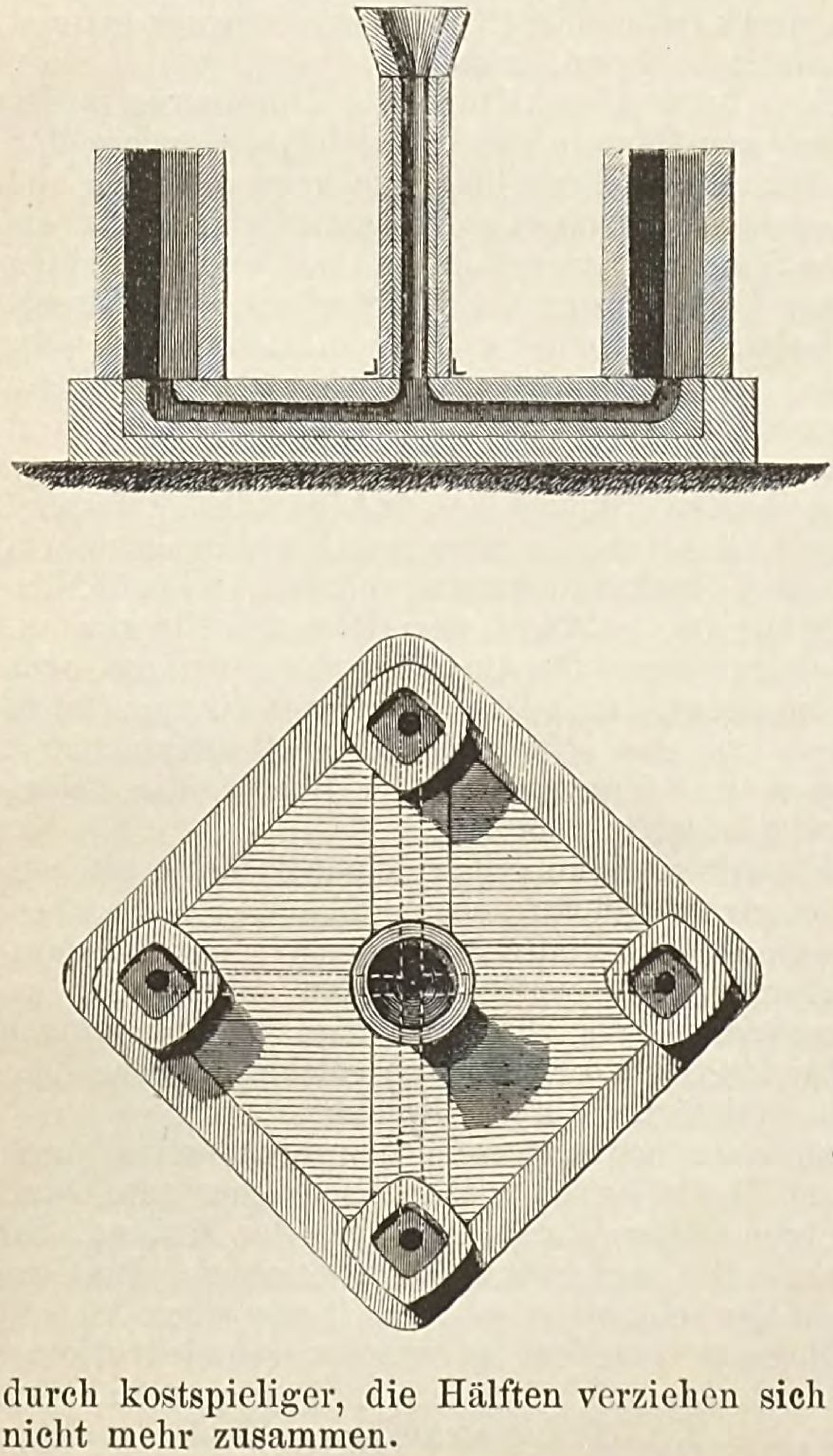
genau zwischen zwei an dem Obertheile angegossenen Vorsprüngen *b b* hindurchgeht, und die Verbindung wird durch Keile bewerkstelligt, wie die Abbildung erkennen lässt. Die Flächen des Obertheiles und Bodens müssen gut auf einander schliessen. Damit der Boden durch das hineinstürzende Metall nicht allzu rasch ausgefressen werde, bringt man wohl, wie in der Abbildung ersichtlich ist, an seiner oberen Seite eine Aussparung von 20—30 mm Tiefe an, welche mit feuerfester Masse ausgefuttert wird.

Fig. 269.



Die Wandstärke der Gussformen pflegt, abweichend nach ihrer Grösse, 60—100 mm zu betragen. Um sie vor dem Reissen zu schützen oder auch um sie noch benutzen zu können, wenn sie bereits gerissen sein sollten, umgiebt man sie bisweilen mit umgelegten Ankern.

Fig. 270 und 271.



Erfahrungsmässig pflegen solche Risse nicht in den Ecken, sondern am unteren Rande in der Mitte der Seiten der Form zuerst zu entstehen. Eine Verstärkung der Seitenwände in der Mitte ist daher zweckmässig; und man erreicht dieses Ziel, indem man der Gussform den in Fig. 269 gezeichneten Querschnitt giebt.

Auch eine Herstellung der Gussform aus zwei gleichen Hälften, deren senkrechte Trennungsebene diagonal durch zwei gegenüberliegende Ecken geht, ist versucht worden, um das Reissen zu erschweren. Die beiden Hälften sind mit nach aussen vorspringenden Laschen versehen und werden durch Dübel und Keile verbunden. Die Herstellung wird aber dadurch kostspieliger, die Hälften verziehen sich leicht und passen dann nicht mehr zusammen.

Will man steigenden Guss anwenden (Seite 849), so ist eine besondere Vorrichtung hierfür erforderlich. Gewöhnlich stellt man in diesem Falle mehrere Gussformen um ein gemeinschaftliches Eingussrohr, von welchem aus durch wagerechte Kanäle das Eisen den einzelnen Gussformen zuströmt. Die Kanäle werden aus besonders hierfür gefertigten feuerfesten Ziegeln hergestellt; auch das Eingussrohr wird mit feuerfesten Ziegeln ausgekleidet, damit das flüssige Eisen nicht frühzeitig erstarre. Fig. 270 und 271 zeigen eine solche Einrichtung. In der Mitte steht der Einguss, entsprechend höher als die Gussformen, damit diese ohne Schwierigkeit angefüllt werden. Ringsherum stehen vier, bisweilen auch acht oder noch mehr Gussformen. Als Unterlage für das Ganze dient ein starker Gusseisenrahmen, an der oberen Seite ausgefuttert mit den feuerfesten Ziegeln, in welchen die Kanäle für das Metall ausgespart sind. Eine Befestigung der Gussformen und des Eingusses auf der Platte ist, wenn solche überhaupt erforderlich sein sollte, leicht durch Dübel in ähnlicher Weise zu bewirken, wie bei der oben besprochenen Gussform Fig. 262.

Die Kanäle müssen nach jedem Gusse erneuert werden.

Sämmtliche gusseiserne Formen erhalten, ehe sie in Benutzung genommen werden, einen dünnen Ueberzug, um vor der unmittelbaren Einwirkung des eingegossenen Metalls geschützt zu sein. Man benutzt dazu Graphit, mit etwas Thonwasser angerührt, Kalkwasser oder dergleichen. Vor der Benutzung müssen die Formen angewärmt werden, wenn sie nicht etwa noch von dem vorausgegangenen Gusse her warm sein sollten. Eine eiserne Gussform pflegt 50—100 Güsse auszuhalten.

Für die Aufstellung und das Heben der Gussformen und Blöcke pflegt man einfach eingerichtete Wasserdruckkrahne zu benutzen. Ein für alle Hebevorrichtungen gemeinschaftlicher Sammler liefert ihnen das Druckwasser.

4. Die Flusseisendarstellung aus Erzen.

Wenn man Roheisen und Eisenerze oder eisenreiche Schlacken in geeigneten Gewichtsverhältnissen und in so hoher Temperatur schmelzt, dass durch den Kohlenstoff-, Silicium- und Mangangehalt des Roheisens nicht allein der Eisenoxydgehalt der Erze oder Schlacken zu Oxydul, sondern auch Eisenoxydul zu metallischem Eisen reducirt wird, so erfolgt Flusseisen.[1]) Als Abart anderer Verfahren findet diese Erzverarbeitung mitunter Verwendung und bei Besprechung jener Verfahren (Tiegelstahlerzeugung, Martinschmelzen) wird sie ausführlicher erwähnt werden.

Verschiedene Versuche sind jedoch auch gemacht worden, um ohne Mitverwendung von Roheisen ausschliesslich aus Erzen Flusseisen zu erzeugen.

Bei starkem Rohgange im Hochofen erfolgt mitunter ein hoch-

1) Schweisseisendarstellung in dieser Weise würde wegen der zur Zerlegung des Eisenoxyduls erforderlichen hohen Temperatur nur in beschränktem Maasse möglich sein. Bei Besprechung der Vorgänge in Frischfeuer und Puddelofen wurde dieses Umstandes bereits gedacht.

grelles Eisen, welches seiner chemischen Zusammensetzung wie seinem Verhalten nach sich als harter Stahl bezeichnen lässt. Auf die Dauer aber lässt sich, wie aus den Erörterungen über das Hochofenschmelzen sich ergiebt, ein solcher Betrieb nicht fortführen. Die Temperatur des Ofens sinkt in einem Maasse, dass alsbald ein Einfrieren eintritt, wenn nicht Abhülfe geschaffen wird; die stärkste Winderhitzung aber ist allein nicht im Stande, hier zu helfen, sondern das Verhältniss des Brennstoffs zum Erz muss erhöht werden. Hierdurch aber wird die Reduction und Kohlung befördert, und es entsteht wieder Roheisen. Die Schwierigkeiten würden noch grösser sein, wenn man versuchen wollte, statt jenes ausnahmsweise im Hochofen erfolgenden, wenig brauchbaren, immerhin noch verhältnissmässig kohlenstoffreichen Eisens ein kohlenstoffärmeres darzustellen. Im Stückofen, welcher seiner Form nach als kleiner Hochofen betrachtet werden kann, vermeidet man das Einfrieren, indem man davon absieht, einen ununterbrochenen Betrieb zu führen, und nur immer bestimmte Einsätze schmelzt, worauf der Ofen ausgeräumt wird; aber das Erzeugniss ist Schweisseisen. Jene für Flusseisenerzeugung nothwendige Temperatur würde auch hier nicht ohne Vermehrung des Brennstoffs erzielt werden können, und diese Vermehrung des Brennstoffs würde eben wieder eine stärkere Kohlung des Eisens unvermeidlich nach sich ziehen. Ein vor Jahren durch Bull in Liverpool gemachter Versuch, die Schwierigkeit durch Anwendung von Wassergas als Reductions- und Heizmaterial zu verwenden, scheiterte gründlich, wie sich mit Sicherheit voraussehen liess. Die Naturgesetze, welche einen Hochofenbetrieb mit Gasen unmöglich machen und auf Seite 555 Erwähnung fanden, besitzen auch hier ihre Berechtigung. Dennoch wurde das Verfahren versuchsweise in Seraing eingeführt.[1])

Fr. Siemens ist seit Jahren bemüht, durch ein Verfahren, welches der von W. Siemens erfundenen Schweisseisendarstellung aus Erzen ähnlich ist, d. h. durch Schmelzen von Erzen im Flammofen bei entsprechend hoher Temperatur und Zusatz von Kohle als Reductionsmittel, Flusseisen darzustellen.[2]) Mittheilungen über den Erfolg sind nicht veröffentlicht worden; erwarten lässt sich, dass theils der unvermeidliche Eisenverlust durch Verschlackung[3]), theils die minder günstige Ausnutzung der Wärme im Vergleiche zu der Wärmeausnutzung im Hochofen, theils auch die Schwierigkeit, ein der Einwirkung von Eisenoxyden in der zur Flusseisenerzeugung erforderlichen hohen Temperatur ausreichend haltbares Ofenfutter darzustellen, unumgängliche Hindernisse für die Brauchbarkeit des Verfahrens bilden werden.

Auch durch Glühen von Eisenerzen mit Kohle, wie beim Chenotverfahren (Seite 790), und unmittelbar darauf folgendes Auflösen des entstehenden Eisenschwamms in einem bereits vorhandenen Eisenbade hat man Flusseisen aus Erzen darzustellen versucht.[4])

1) Näheres hierüber: Iron, vol. XXI, p. 89; „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 325.

2) D. R.-P. Nr. 32 309, 37 105, 59 930, 62 904.

3) Auch bei der Flusseisenerzeugung steht, wie bei der Schweisseisendarstellung und dem Hochofenbetriebe, der Eisengehalt der Schlacke, also der Eisenverlust, im umgekehrten Verhältnisse zu dem Kohlenstoffgehalt des Erzeugnisses.

4) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 300.

Das sind nur wenige Beispiele aus der grossen Zahl der vorgeschlagenen und hier oder da versuchten Verfahren zur Flusseisenerzeugung aus Erzen. Keins dieser Verfahren hat einen zu seiner dauernden Anwendung anregenden Erfolg gehabt. Das chemische Verhalten des Eisens und der Eisenoxyde berechtigt zu dem Schlusse, dass es auch fernerhin unmöglich sein wird, ein Verfahren zu erfinden, durch welches die bisherige Betriebsweise, Verhüttung der Erze im Hochofen und Verarbeitung des entstehenden Roheisens auf Flusseisen, mit Vortheil ersetzt werden könnte. Der Eisenhochofen ist der vollkommenste Reductionsofen für Schmelzen von Eisenerzen. Nicht allein wird der Eisengehalt der Erze beim Hochofenschmelzen fast vollständig gewonnen, sondern auch die Ausnutzung des Heiz- und Reductionsmateriales ist so günstig, dass der wirklich stattfindende Brennstoffverbrauch mitunter den theoretisch erforderlichen kaum noch übertrifft (Seite 571). Ohne ferneren Aufwand von Brennstoff lässt sich aber das gewonnene Roheisen in Flusseisen umwandeln (Bessemer- und Thomasverfahren). Es ist nicht denkbar, dass eine unmittelbare Erzeugung von Flusseisen aus Erzen, für welche ein Schachtofen aus den schon besprochenen Gründen nicht anwendbar ist, unter gleich günstigen Verhältnissen sich durchführen lassen wird.

5. Die Versuche zur Flusseisendarstellung im Kupolofen.

Der Gedanke liegt nahe, dass man im Stande sein müsse, durch Schmelzen von Schweisseisen mit oder ohne Roheisenzusatz im Kupolofen Flusseisen darzustellen. Mehrfach sind Versuche angestellt worden, das Verfahren für den Betrieb nutzbar zu machen. Auf Seite 624 wurde jedoch bereits erwähnt, weshalb Flusseisenerzeugung auf diese Weise unmöglich ist: bei der unvermeidlichen Berührung des schmelzenden Eisens mit weissglühenden Kohlen nimmt es reichliche Mengen Kohlenstoff auf und verwandelt sich in Roheisen mit mindestens 2,5 Hunderttheilen Kohlenstoff, oft erheblich mehr.

Ein Verfahren, bei welchem das solcherart entstehende Roheisen als Zwischenerzeugniss verwendet wird, um durch Eingiessen in Formen zu Gusswaaren verarbeitet und dann durch oxydirendes Glühen schmiedbar gemacht zu werden (Temperstahl-Darstellung), findet später (unter Abschnitt V) Besprechung.

6. Die Tiegelstahldarstellung.

a) Einleitung.

Der Tiegelstahl bildet die älteste Art alles Flussstahles und Flusseisens, auch die einzige, deren Erfindung schon aus dem vorigen Jahrhunderte stammt.[1]) Wie man erzählt, wurde ein in der Gegend

1) Bis zur Erfindung neuerer Verfahren der Flussstahlerzeugung pflegte man den Tiegelstahl Gussstahl zu nennen, um ihn vom Schweissstahle zu unterscheiden. Noch heute wird die Benennung mitunter angewendet, ist aber unzuverlässig, da Niemandem das Recht abgesprochen werden kann, auch anderen Stahl als Tiegelstahl, wenn er gegossen ist, Gussstahl zu nennen.

von Sheffield wohnender Uhrmacher, Namens Benjamin Huntsman, welcher um die Mitte des vorigen Jahrhunderts lebte, auf den Gedanken der Tiegelstahlerzeugung durch die Schwierigkeiten geführt, welche ihm die Beschaffenheit der aus Schweissstahl gefertigten feinen Uhrfedern bereitete. Kleine unganze Stellen, eingemengte Schlackenkörnchen oder dergleichen machten viele solche Uhrfedern unbrauchbar; so verfiel er auf den Gedanken, durch Schmelzen den Stahl gleichförmiger zu machen. Im Jahre 1756 waren in der Gegend von Sheffield, wie Jars in seinen metallurgischen Reisen (Band II, Seite 422) erzählt, bereits mehrere Tiegelstahlschmelzereien im Betriebe, und noch heute betreiben die Nachkommen Huntsmans die Tiegelstahldarstellung. Auch in vielen deutschen Eisenhandlungen bildet der Huntsmanstahl einen besonders für Werkzeuge zur Metallbearbeitung geschätzten Verkaufsgegenstand.

Lange Zeit beschränkte sich jedoch das Verfahren auf die Darstellung kleiner, zum Ausschmieden bestimmter Blöcke, deren Grösse durch den Inhalt des einzelnen Tiegels bestimmt war. Der Firma Fr. Krupp in Essen gelang es zuerst, durch Vereinigung des Inhaltes zahlreicher Tiegel in einer einzigen Gussform schwerere Blöcke zu giessen und diese Blöcke durch Anwendung ausreichend kräftiger Dampfhämmer zu verdichten. Hierdurch erst war dem Tiegelstahle, welcher bis dahin fast nur für Werkzeuge, Federn und ähnliche Gegenstände geringeren Gewichtes Verwendung gefunden hatte, ein weiteres Feld der Benutzung eröffnet (Geschütze, Maschinentheile u. a. m.); seine Anwendung zum Formguss gelang zuerst der Bochumer Gussstahlfabrik, wie schon oben erwähnt wurde.

Durch neuere Verfahren der Flussstahldarstellung, welche in weniger kostspieliger Weise ein ähnliches Erzeugniss liefern, ist die Verwendung des Tiegelstahles auf manchen Gebieten eingeschränkt worden, wo er noch vor drei Jahrzehnten die Alleinherrschaft besass; trotzdem bildet auch heute noch seine Darstellung ein wichtiges Glied der gesammten Eisenerzeugung, und aus Gründen, die unten bei Besprechung seiner Eigenschaften ausführlichere Erörterung finden werden, ist auch nicht zu erwarten, dass diese Darstellung einmal vollständig aufhören werde.

Ziemlich einfach erscheint das Verfahren der Tiegelstahldarstellung an und für sich, obschon die Beachtung mancherlei Nebenumstände zur Erlangung eines guten Erfolges unumgänglich ist. Irgend ein Rohstahl — Frischfeuerstahl, Puddelstahl, Cementstahl, auch selbst Flussstahl vom Bessemer- oder Martinverfahren — wird im Tiegel unter Ueberhitzung eingeschmolzen und das flüssige Metall nach ausreichend langem Abstehen in Gussformen ausgegossen.

Der ursprüngliche, schon oben angedeutete Zweck des Verfahrens war die Umwandlung von Schweissstahl in Flussstahl, welcher frei von Schlacke und gleichmässig in seiner Zusammensetzung ist; auch jetzt noch ist in den meisten Fällen die Erzeugung von Flussstahl aus Schweissstahl das eigentliche Ziel des Tiegelstahlschmelzens. Dass jedoch auch Flussstahl von anderen Verfahren eine gewisse Veredelung erfahren kann, wenn man ihn in geeigneter Weise im Tiegel umschmelzt,

ist nicht in Abrede zu stellen, und noch in verschiedener anderer Weise lässt sich das Verfahren ausführen. Man kann z. B., wenn es sich darum handelt, Stahl darzustellen und nicht nur umzuschmelzen, Roheisen und Schmiedeeisen in solchen Gewichtsverhältnissen zusammen schmelzen, dass das Erzeugniss den gewünschten Kohlenstoffgehalt erhält; ja, man kann sogar Erze und Roheisen in entsprechenden Verhältnissen zusammen im Tiegel schmelzen, wobei der Eisengehalt der Erze durch den Mangan-, Silicium- und durch einen Theil des Kohlenstoffgehaltes des Roheisens reducirt wird und das Enderzeugniss ebenfalls flüssiger Stahl ist (Uchatius-Stahl). Die Gründe, weshalb die Durchführung des Verfahrens in solcher Weise sich wenig bewährt hat, werden unten Erwähnung finden.

Da die Erhitzung des Metalls auf sehr hohe Temperaturen im Tiegel schwieriger ausfällt als bei unmittelbarer Berührung zwischen Metall und Brennstoff, auch die Haltbarkeit der Tiegel um so grössere Gefahr läuft, je höher die Temperatur ist, pflegt man das Verfahren auf die Erzeugung eigentlichen Stahles zu beschränken, dessen Schmelztemperatur niedriger liegt als diejenige des kohlenstoffärmeren Eisens; Tiegelstahl, welcher seiner Zusammensetzung nach etwa auf der Grenze zwischen wirklichem Stahl und nicht deutlich härtbarem Eisen steht (Kohlenstoffgehalt etwa 0,4 Hunderttheile), wird allerdings nicht selten erzeugt. Nur für einen ganz besonderen Zweck, nämlich Darstellung von Gusswaaren aus ganz weichem schmiedbarem Eisen (Mitisgüsse), hat man neuerdings in vereinzelten Fällen auch ganz kohlenstoffarmes Eisen im Tiegel geschmolzen. Die Bezeichnung „Stahl“ verdient das Erzeugniss in diesem Falle nicht; da das Verfahren jedoch in seinen Haupteigenthümlichkeiten mit dem Tiegelstahlschmelzen übereinstimmt, möge es bei diesem Erwähnung finden.

b) Die Tiegel und Schmelzöfen.

Man benutzt Tiegel, deren Form mit der gewöhnlichen Form aller für Metallschmelzen benutzten Tiegel übereinstimmt. Die Grösse der Tiegel pflegt, abweichend nach der Verwendung des erzeugten Stahles und örtlichen Verhältnissen, für einen Inhalt von 10—35 kg berechnet zu sein; mitunter kommen auch noch grössere Tiegel zur Verwendung.

Zum Schutze des Tiegelinhaltes gegen die unmittelbare Einwirkung des Brennstoffs pflegt der Tiegel mit einem aufgelegten Deckel versehen zu sein, welcher eine runde Oeffnung besitzt, dazu dienend, das Einstecken einer Eisenstange zu ermöglichen, mit welcher der Tiegelinhalt untersucht werden kann, ohne dass der Deckel abgehoben zu werden braucht. Während des Schmelzens lässt sich durch einen Thonpfropfen die Oeffnung verschliessen.

Bei der hohen Temperatur, welcher die Tiegel ausgesetzt sind, ist möglichst sorgfältige Herstellung von Wichtigkeit. Gute Tiegel können zwei bis drei Schmelzungen aushalten, weniger gute nur eine Schmelzung; bei ungenügender Beschaffenheit kann es vorkommen, dass der Tiegel schon beim ersten Schmelzen leck wird und der Einsatz ausfliesst. In Rücksicht auf den Schaden, welcher durch das Auslaufen eines Tiegels entsteht, benutzt man auf manchen Werken

zur besseren Vermeidung der Gefahr auch gute Tiegel doch nur ein einziges Mal.

Bei der Auswahl der Tiegel ist auch der Umstand zu beachten, dass durch die Tiegelmasse, insbesondere durch ihren Kieselsäure- und Kohlenstoffgehalt, auf das eingeschlossene Metall chemische Einwirkungen ausgeübt werden, welche unten ausführlichere Besprechung finden werden. Von der chemischen Zusammensetzung der Tiegelmasse sind diese Einwirkungen abhängig. Ob sie als wohlthätig oder als nachtheilig zu bezeichnen sind, hängt von der Bestimmung des erzeugten Stahles und von der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung des Einsatzes ab; in jedem Falle aber müssen diese Aenderungen von vornherein bei der Auswahl der Tiegel in Betracht gezogen werden. In verschiedenen Tiegeln kann man unter übrigens gleichen Verhältnissen Stahl von abweichender Beschaffenheit erhalten.

In Anbetracht der Wichtigkeit, welche die Beschaffenheit der Tiegel für den Betrieb einer Tiegelstahlhütte besitzt, und des grossen jährlichen Bedarfs an Tiegeln pflegen grössere Werke deren Herstellung in eigenen Werkstätten auszuführen.

Man fertigt die Tiegel aus feuerfestem Thon mit Graphitzusatz. Alte Tiegel werden gemahlen, mit so viel frischem feuerfesten Thon, dass das Ganze im angefeuchteten Zustande bildsam ist, und mit gemahlenem Graphit gemischt.

Der Graphitgehalt der Tiegel hat mehr als eine Aufgabe zu erfüllen. An und für sich unschmelzbar, sofern er nicht durch fremde leichtschmelzige Beimengungen verunreinigt ist [1]), erhöht er die Feuerbeständigkeit; er verhindert das Eindringen oxydirender Gase — Sauerstoff, Kohlensäure, Wasserdampf — durch die Poren des weissglühenden Tiegels in das Innere, erschwert theils hierdurch, theils durch seine Berührung mit dem eingeschlossenen Metalle die Verringerung des Kohlenstoffgehaltes des letzteren und befördert die Reduction von Silicium aus den Tiegelwänden. Müller fand, dass beim Schmelzen verschiedener Stahlsorten in Thontiegeln ohne Graphitzusatz sich der Kohlenstoffgehalt des Einsatzes fast stets erheblich, mitunter auf etwa die Hälfte, verringerte, in Graphittiegeln dagegen fast regelmässig zunahm, niemals geringer wurde; die Anreicherung des Siliciums erreichte beim Schmelzen in Graphittiegeln das doppelte bis dreifache Maass als in graphitfreien Thontiegeln. Der in Graphittiegeln geschmolzene Stahl war meistens ruhig, der in Thontiegeln geschmolzene war unruhig und gab undichte Abgüsse.[2])

Sowohl die Rücksicht auf diese Einwirkungen des Graphitgehaltes als auch die ursprüngliche Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden feuerfesten Thones muss über das Verhältniss des letzteren zu den Magerungsmitteln — Tiegelschamotte und Graphit — entscheiden. Fetter Thon erträgt und verlangt einen grösseren Zusatz, magerer einen geringeren. Meistens beträgt die Menge des frischen feuerfesten

1) Nur der beste, von Alkalien, Erden, Eisenoxyd u. s. w. möglichst freie Graphit ist für diesen Zweck brauchbar. Minder reinen Graphit unterwirft man einem Reinigungsverfahren durch Schlämmen, Glühen bei Luftabschluss und nachfolgender Behandlung mit verdünnten Säuren oder in ähnlicher Weise.

2) „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 696.

Thones zwischen 25—66 Hunderttheile der Tiegelmasse; der Rest besteht aus jenen Magerungsmittteln. Verwendet man nun gepulverte alte Graphittiegel wieder als Zusatz, so führt man auch durch diese wiederum Graphit in das Gemisch, und hierauf ist Rücksicht zu nehmen, wenn man einen bestimmten Kohlenstoffgehalt der Tiegel erhalten will. Der gesammte Graphitgehalt der Tiegel einschliesslich des durch die Tiegelschamotte wieder zugeführten Graphites pflegt zwischen 15 bis 75 Hunderttheilen zu schwanken; bei dem verhältnissmässig hohen Preise des Graphites steigen mit dem Graphitgehalte der Tiegel auch ihre Herstellungskosten. Da jedoch auch der gereinigte Graphit niemals aus chemisch reiner Kohle besteht, so beziffert sich der Kohlenstoffgehalt jener Tiegel entsprechend niedriger als der Graphitgehalt und beträgt gewöhnlich 10—60 Hunderttheile.

Die Bestandtheile der Tiegelmasse werden gemahlen und gemischt, mit Wasser befeuchtet, dann zu Tiegeln geformt. Das Formen geschieht entweder von Hand auf einer Töpferscheibe [1]) oder in einer Form durch eine Presse, die durch eine Schraube, Dampfdruck oder Wasserdruck bewegt wird. Im Grossbetriebe ist das letztere Verfahren üblicher.

Nach dem Formen lässt man die Tiegel erst vorsichtig an der Luft trocknen, dann kommen sie in ganz schwach erwärmte Räume, von hier in stärker erhizte Kammern, um schliesslich — jedoch erst unmittelbar vor der Benutzung — in Rothgluth gebrannt zu werden. Diese Arbeit des Trocknens erfordert einen Zeitraum von mehreren Monaten, so dass für eine grössere Tiegelstahlhütte stets eine ziemlich bedeutende Zahl von Tiegeln in Vorbereitung begriffen sein muss.

Als Schmelzöfen für die Tiegelstahldarstellung bediente man sich bis gegen die Mitte der sechziger Jahre ausschliesslich der mit Koks geheizten Tiegelschachtöfen von der Einrichtung, welche durch die Abbildungen Fig. 163 und 164 auf Seite 599 dargestellt ist. Flammofenheizung mit Rostfeuerung gab nicht den erforderlichen Temperaturgrad, auch die Gasfeuerung war bis zu jener Zeit noch nicht ausreichend ausgebildet, um befriedigende Erfolge zu versprechen.

In kleineren Schmelzwerken wird auch heute noch der Tiegelschachtofen mit Rost und Essenzug am häufigsten benutzt. Man hat ein- und mehrtieglige Oefen; geht die Zahl der Tiegel, welche in einen Ofen eingesetzt werden sollen, über drei hinaus, so pflegt man sie in Parallelreihen aufzustellen, deren jede zwei bis vier Tiegel enthält; dass aber mit der Anzahl der Tiegel auch die Schwierigkeit wächst, sie gleichmässig zu erhitzen, wurde schon bei der früheren Besprechung eines Tiegelschmelzofens erwähnt. Neun dürfte die grösste Zahl der Tiegel sein, welche überhaupt in einen gemeinschaftlichen Ofen eingesetzt werden, gewöhnlich sind es weniger.

Zur Erzielung der erforderlichen hohen Temperatur ist ein kräftiger Essenzug nothwendig. Deshalb giebt man in der Regel jedem Schmelz-

1) Eine solche ist in jeder Töpferwerkstatt zu sehen. Eine wagerechte Scheibe an dem oberen Ende einer senkrechten Welle wird durch einen Fusstritt gedreht. Der vor der Scheibe sitzende Arbeiter bringt den Thonklumpen in die Mitte der Scheibe und formt mittelst Daumens und Zeigefingers, während jene sich dreht, die Wand des Gefässes.

ofen eine besondere Esse, obschon man mitunter auch Anlagen findet, bei welchen die Gase mehrerer Oefen durch einen sehr weiten Sammelkanal einer gemeinschaftlichen Hauptesse zugeführt werden.

Sämmtliche Oefen werden in Reihen einer neben dem andern aufgestellt, und zwar in der Weise, wie es die schon erwähnten Abbildungen Fig. 163 und 164 erkennen lassen, d. h. mit ihrer Gichtöffnung in der Ebene des Giessraumes oder nur wenig darüber. Die Roste sämmtlicher Oefen sind von einem ausreichend geräumigen Kellerraume aus leicht zugänglich, und bei der Anlage muss Vorsorge getroffen werden, dass der Luftzutritt nach den Rosten nicht behindert und ein leichter Verkehr zwischen den Arbeitern im Giessraume wie den Arbeitern bei der Feuerung möglich sei.

Der Koksverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Stahl in solchen Oefen pflegt, abweichend nach der Grösse und Zahl der Tiegel eines Ofens wie nach der Beschaffenheit der Koks, zwischen 2000 und 5000 kg zu schwanken, in den meisten Fällen 2500—3000 kg zu betragen.

In neuerer Zeit hat man — besonders in französischen Schmelzereien — mehrfach den Piatofen (Seite 601) an Stelle der feststehenden Oefen mit gutem Erfolge eingeführt. In einzelnen Fällen, wo man denselben Ofen und Tiegel zu mehreren unmittelbar auf einander folgenden Schmelzungen benutzte, ergab sich ein Koksverbrauch von angeblich nicht mehr als 1150 kg für 1000 kg Stahl.

Durch Erfindung der Siemensfeuerungen im Jahre 1861 (Seite 136) erhielt man ein Mittel, beim Tiegelstahlschmelzen auch durch Flammenfeuerung die erforderliche Temperatur hervorzubringen. Gerade bei dieser Verwendung besitzen die Siemensfeuerungen unleugbar verschiedene Vorzüge.

Bei dem Schmelzen mit Koks in Schachtöfen geht der bei weitem grösste Theil der entwickelten Wärme ungenutzt in die Esse. Eine Ausnutzung dieser aus dem Ofen entweichenden Wärme ist nicht gut möglich. Eine Einschaltung anderer zu erhitzender Vorrichtungen würde nicht nur leicht zur Schmälerung des Essenzuges Veranlassung geben, sondern auch in Rücksicht auf den Umstand unthunlich sein, dass der einzelne Ofen nur zeitweise mit Brennstoff gefüllt, während des Einsetzens und Herausnehmens der Tiegel aber leer ist; eine Erhöhung des Ofens zu dem Zwecke, die niederrückenden Koks durch die aufsteigenden Gase vorwärmen zu lassen, würde, wie bei allen Tiegelschachtöfen, nicht nur ebenfalls den Essenzug beeinträchtigen, sondern, was noch nachtheiliger wäre, auch eine vermehrte Kohlenoxydgasbildung zur Folge haben, also eher nachtheilig als günstig auf den Brennstoffverbrauch einwirken; denselben Erfolg, eine Vermehrung der Kohlenoxydgasbildung, würde es haben, wenn man die abziehenden Gase etwa zur Vorwärmung der zuströmenden Verbrennungsluft verwenden wollte.

Bei den Siemensöfen wird die abziehende Wärme zum Theil aufgespeichert, durch das zuströmende Gas und die Verbrennungsluft dem Ofen wieder zugeführt und hierdurch nutzbar gemacht. Die Brennstoffausnutzung ist also günstig, und leichter als in anderen Flammöfen lässt sich die zum Tiegelschmelzen erforderliche hohe Temperatur erzielen. Ausserdem aber ermöglichen diese Oefen, wie alle Flammöfen,

die Anwendung unverkohlter, also billigerer Brennstoffe, und zwar nicht allein der Steinkohlen, sondern auch — bei entsprechender Einrichtung — der Braunkohlen, des Torfes, des Holzes, und dieser Umstand fällt gerade in solchen Gegenden für ihre Anwendung in's Gewicht, wo Koks hoch im Preise stehen. Endlich ist es ein nicht zu unterschätzender Vortheil der Tiegelflammöfen, dass die Tiegel mit dem festen Brennstoffe und der Asche gar nicht in Berührung kommen. Sie sind in jedem Augenblicke des Betriebes zugänglich, während man bei den Koksschachtöfen erst die Brennstoffschicht niederbrennen lassen muss, um zu den Tiegeln zu gelangen, und sie werden von der Asche nicht angegriffen, welche bei den anderen Oefen oft als dicke Schlackenkruste an die Tiegelwände sich ansetzt und zerstörend auf diese einwirkt.

Dieser Vorzüge halber haben die Flammöfen mit Siemensfeuerung seit der erwähnten Zeit vielfach die alten Schachtöfen mit Koksfeuerung verdrängt; aber freilich ist ihre Anlage erheblich kostspieliger, und sie erfordern, damit sie ihre Aufgabe erfüllen können, einen möglichst ununterbrochenen Betrieb.[1]) Aus diesen Gründen eignen sie sich mehr für einen Betrieb im grossen Maassstabe als für kleine Anlagen.

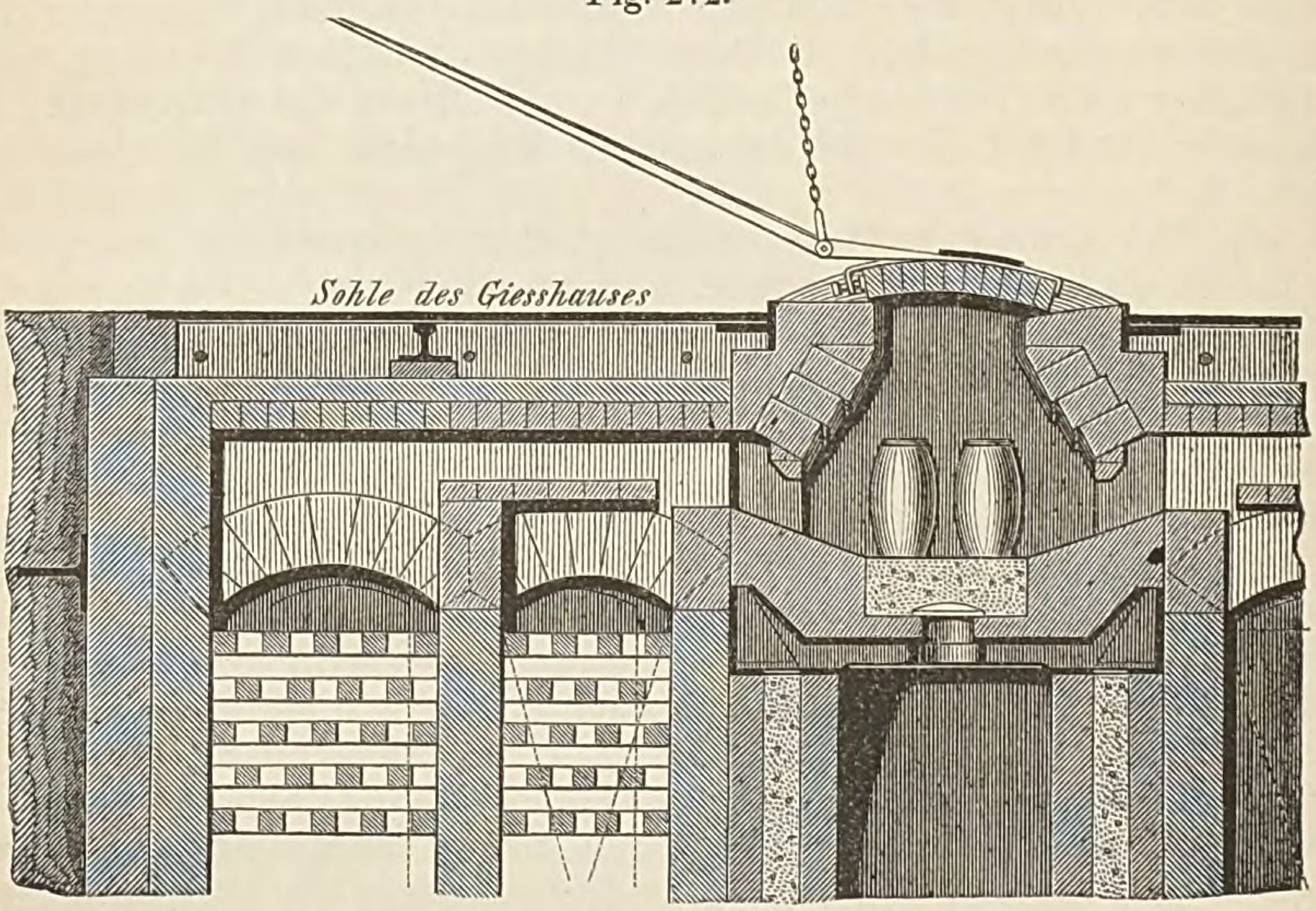
Die Einrichtung der Wärmespeicher, Umschaltvorrichtungen u. s. w. bei diesen Oefen ist die nämliche, wie bei den Siemensöfen überhaupt; die Einrichtung des Herdes richtet sich nach der Anzahl der einzusetzenden Tiegel. Ist ihre Zahl nicht sehr gross (12 bis 24), so pflegt man den Ofen vertieft im Erdboden, die Einsatzöffnungen in seiner Decke anzuordnen, so dass von hier aus die Bedienung des Herdes erfolgt. Ist nun das zur Verfügung stehende Gas arm an Kohlenwasserstoffen, so dass eine kurze Flamme zu erwarten ist, so giebt man dem Herde geringe Länge, so dass nicht mehr als zwei bis drei Tiegel hinter einander (in der Flammenrichtung) aufgestellt werden können, und eine der Zahl der einzusetzenden Tiegel entsprechende Breite. Fig. 272 auf S. 872 zeigt in $^1/_{48}$ der wirklichen Grösse einen Längsschnitt durch einen derartigen Ofen[2]) (unter Weglassung der rechts befindlichen Wärmespeicher). Durch Scheidewände in der Längsrichtung, welche zugleich als Unterstützung der Decke dienen, pflegt der Herd in mehrere Abtheilungen von 0,6 bis 0,9 m Breite getheilt zu sein, in deren jeder nur zwei Tiegel neben einander Platz finden, so dass jede Abtheilung vier bis sechs Tiegel aufnimmt. Der ganze Ofen enthält drei bis höchstens vier solcher Abtheilungen mit gemeinschaftlichen Wärmespeichern. Ueber den Tiegeln jeder Abtheilung befindet sich die Einsatzöffnung, durch je zwei neben einander liegende, aus feuerfesten Ziegeln gefertigte Deckel geschlossen, deren jeder durch eiserne Bänder zusammengehalten wird und an je einem Hebel mit Kette befestigt ist, wie die Abbildung zeigt. Die Kette hängt an einer auf einer Eisenschiene laufenden Rolle, so dass der Deckel leicht zur Seite bewegt werden kann, nachdem er mit Hülfe des Hebels etwas emporgehoben wurde. Der Herd besteht aus einer Sandfüllung auf einer gusseisernen Platte. In dieser Platte sind unterhalb der Tiegel Oeffnungen an-

1) Vergl. die Erörterungen auf Seite 137.
2) Aus J. S. Jeans, Steel, its history, manufacture, properties and uses.

gebracht, die durch Thondeckel geschlossen sind. In der Abbildung ist eine solche Oeffnung im Schnitte sichtbar. Ist ein Tiegel leck geworden, so durchstösst man mit einer Eisenstange die Thondeckel, und der Stahl nebst Schlacke werden aus dem Ofen entfernt. Dann wird eine neue Thonplatte aufgelegt.

Bei der kurzen Herdlänge eines solchen Ofens ist es von Wichtigkeit, die Verbrennung so zu leiten, dass eine kurze heisse Flamme erfolgt. Gas und Luft müssen, damit dieser Zweck erreicht werde, unter verschiedener Richtung und mit verschiedener Geschwindigkeit auf einander treffen. Die Abbildungen lassen erkennen, in welcher Weise diese Aufgabe gelöst wird. Aus dem am Ende des Ofens gelegenen etwas grösseren Wärmespeicher tritt die Luft in einen wagerechten Kanal; unter einem Winkel von fast 90 Graden gegen die

Fig. 272.



Richtung der Luft tritt das aus dem zweiten Wärmespeicher durch einen engen Schlitz, also mit grosser Geschwindigkeit ausströmende Gas ein. Die Abwärtsneigung der Decke an der Stelle, wo die Gase in den Herd eintreten, giebt ihnen die Richtung nach unten, wodurch verhütet wird, dass der Fuss der Tiegel kalt bleibe.

Dennoch kann es bei der abgebildeten Anordnung der Oefen vorkommen, dass die Verbrennung erst in den Wärmespeichern ihr Ende erreicht, die Wärme also ungenügend ausgenutzt wird. Die Gefahr liegt besonders nahe bei Benutzung kohlenwasserstoffreicher und deshalb eine längere Flamme gebender Gase, aus Braunkohlen oder gasreichen Steinkohlen erzeugt. In solchen Fällen ist eine grössere Herdlänge zweckmässig. Man giebt den Oefen die in Fig. 273 bis 275 dargestellte Einrichtung. Auf dem langgestreckten Herde haben nur zwei Tiegel neben einander, dagegen sechs bis acht Tiegel hinter einander Platz. Die Tiegel stehen auf Untersätzen von etwa 100 mm

Tiegelschmelzofen.

1/40 der wirklichen Grösse.

Fig. 273 Schnitt C-D.

Fig. 274

Schnitt E F.

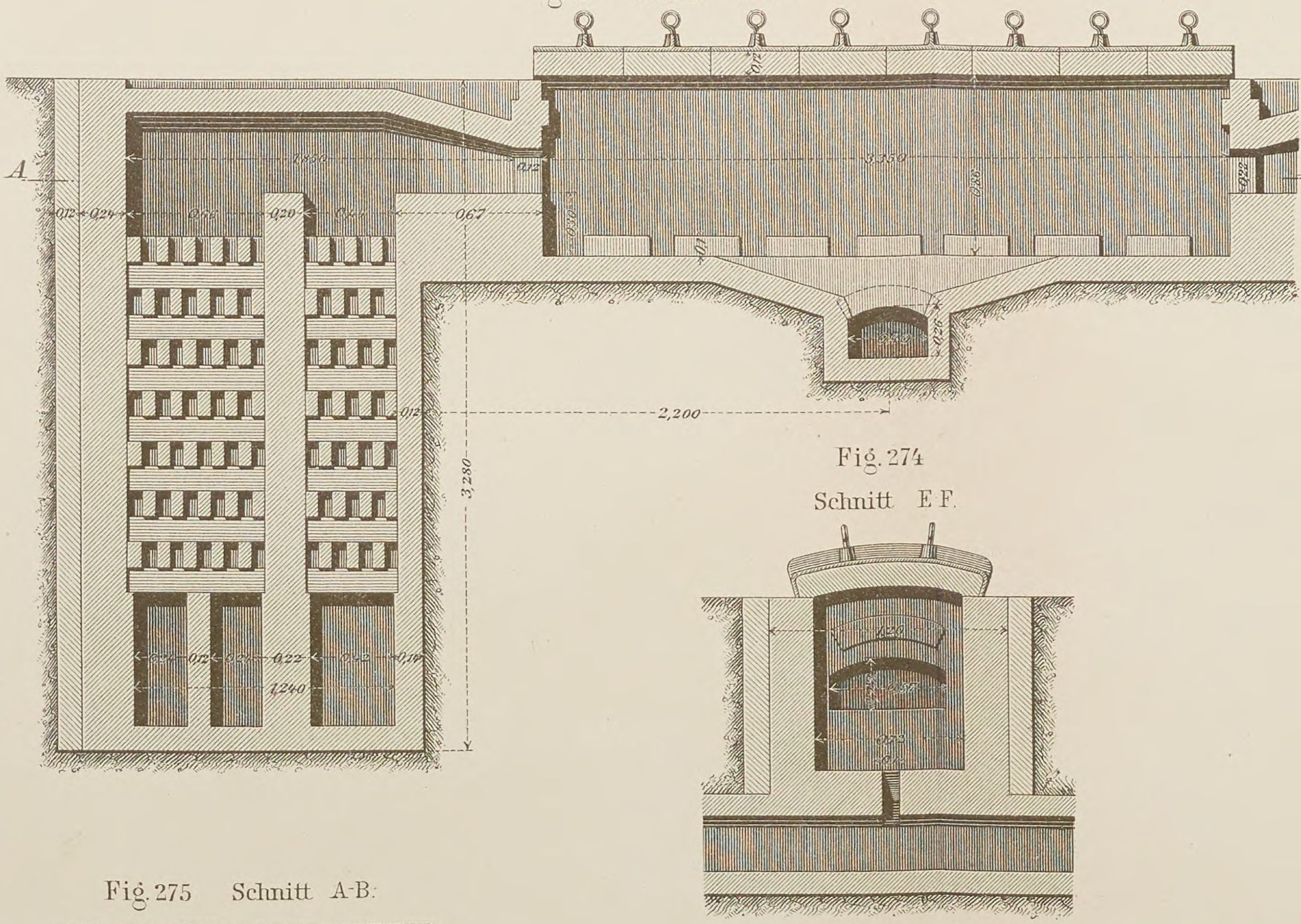
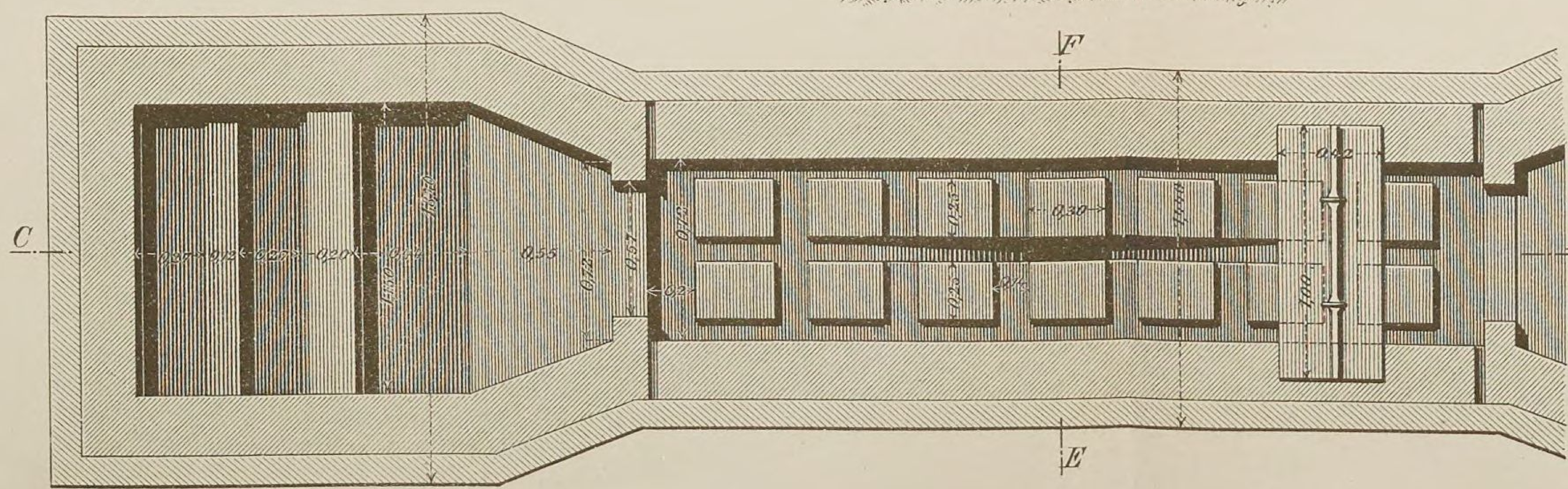


Fig. 275 Schnitt A-B.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Höhe; wird ein Tiegel leck, so fliesst das Metall in der Rinne, welche in der Längsrichtung des Herdes sich erstreckt, abwärts nach dem in der Mitte befindlichen Kanale, aus dem es nach beendigtem Schmelzen entfernt werden kann. Während des Schmelzens bleibt der Kanal geschlossen, damit nicht von hier kalte Luft eintrete.

Sollen mehr Tiegel, als oben angegeben, eingesetzt werden, so ist eine entsprechend grössere Zahl von Schmelzöfen dafür erforderlich. Wo jedoch der Fall regelmässig vorkommt, giebt man den Oefen eine geänderte Einrichtung. Man baut sie oberirdisch mit Thüren an der Langseite und geräumigem Herde. Ein solcher Ofen ist demnach den in Fig. 23 bis 25 (Seite 136) und Fig. 29, 30 (Seite 140) abgebildeten Siemensöfen ähnlich und unterscheidet sich von ihnen vornehmlich nur durch ihren ebenen statt muldenförmigen Herd. Das Einsetzen und Herausnehmen der Tiegel erfolgt durch die erwähnten Thüren an der Seite; um aber während des Schmelzens die Tiegel beobachten und ihren Inhalt untersuchen zu können, sind in der Decke des Ofens zahlreiche Oeffnungen angebracht, durch welche man hineinsehen und eiserne Stangen einführen kann. Durch aufgelegte Steine schliesst man die Oeffnungen, so lange sie nicht benutzt werden; eine eiserne Bühne über dem Ofen ermöglicht den Zugang. Ein solcher Ofen fasst 25 bis 90 Tiegel.[1])

Der Brennstoffverbrauch eines Siemensofens zur Tiegelstahlerzeugung beträgt bei Anwendung vorzüglicher Steinkohlen oft nicht mehr als 1200 kg für 1000 kg erzeugten Stahles; bei aschenreicheren Steinkohlen kann man 1500—1600 kg annehmen, bei Braunkohlen 2000—4000 kg. Ein Vergleich dieses Brennstoffverbrauches mit dem oben besprochenen Verbrauche an Koks in Tiegelschachtöfen lässt die Vortheile der Gasfeuerung deutlich erkennen. Ein Ofen mit 18—20 Tiegeln von 25—30 kg Inhalt aber liefert im Laufe von 24 Stunden 2000 bis 3000 kg Stahl, und ohne wesentliche Erhöhung des bezüglichen Brennstoffverbrauches würde es nicht möglich sein, diese Leistung zu beschränken.

Zum Schmelzen ganz kohlenstoffarmen Eisens für Herstellung des oben erwähnten Mitisgusses bedient man sich statt dieser Siemensfeuerungen mit Gasheizung oder der noch weniger für diesen Zweck geeigneten Schachtöfen mit Koksheizung einer besonderen Art Schmelzöfen, welche mit Petroleum oder Petroleumabfällen geheizt werden. Die in flachen Gefässen neben dem Ofen befindliche Flüssigkeit wird durch einen darüber hinstreichenden Luftstrom theils verbrannt, theils im unverbrannten Zustande vergast; das entstehende Gasgemisch tritt in den Ofen und wird hier durch zugeführte Luft vollends verbrannt. Sechs Tiegel stehen paarweise in drei Reihen hinter einander. Wenn das an der heissesten Stelle befindliche Tiegelpaar zum Zwecke des Ausgiessens herausgenommen ist, werden die dahinter stehenden Tiegel vorgerückt, und an der leer gewordenen kältesten Stelle wird ein Paar frischer Tiegel eingesetzt.[2]) Etwa alle anderthalb Stunden wird

1) Skizze eines derartigen Ofens: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 454.

2) Abbildung eines solchen Ofens: Revue universelle des mines 1888, 3 trimestre, pl. 8.

diese Arbeit ausgeführt. Ueber den erforderlichen Brennstoffverbrauch zum Schmelzen in diesen Oefen liegen bis jetzt keine Mittheilungen vor.

c) Das Arbeitsverfahren.

Wie schon erwähnt wurde, pflegt Schweissstahl — Puddel- oder Frischfeuerstahl — den Grundbestandtheil für die Beschickung der Tiegel zu bilden. Bei der Kostspieligkeit der Tiegelstahldarstellung kann sie überhaupt nur dann lohnend werden, wenn der gewonnene Stahl sich in jeder Beziehung als vorzüglich erweist; hierzu ist aber in erster Reihe Reinheit von nachtheiligen Beimengungen, insbesondere von Phosphor und Schwefel erforderlich. Da eine Abscheidung des Phosphors beim Tiegelschmelzen gar nicht, eine Abscheidung von Schwefel nur in sehr beschränktem Maasse stattfinden kann, muss auch bei der Auswahl der zu verwendenden Stahlsorten hierauf Rücksicht genommen werden. Cementstahl, welcher sich durch grosse Reinheit vor anderen Stahlsorten auszeichnet und leicht auch mit grösserem Kohlenstoffgehalte darzustellen, aber kostspieliger als Puddel- und Herdfrischstahl ist, findet für Darstellung von Tiegelstahl Verwendung, der für feine Werkzeuge, Feilen und dergleichen bestimmt ist; Flussstahl von anderen Verfahren (Bessemerstahl, Martinstahl) wird seiner Billigkeit halber nicht selten dann neben anderem Stahl mit verwendet, wenn man den Tiegelstahl für Formgussdarstellung verwenden will.

Beim Schmelzen in graphitreichen Tiegeln pflegt der Kohlenstoffgehalt des Einsatzes um etwa 0,1 Hunderttheil, mitunter noch etwas mehr, zuzunehmen, worauf bei der Auswahl des Stahles Rücksicht zu nehmen ist.

Sehr harte Stahlsorten, zur Anfertigung von Werkzeugen für Bearbeitung harter Metalle bestimmt, erzeugt man durch Zusatz der auf Seite 302 und 304 besprochenen Eisenchrom- oder Eisenwolframlegirungen in solchen Gewichtsmengen, dass der fertige Stahl bis zu 1 Hunderttheil Chrom oder bis zu 8 Hunderttheilen Wolfram, selten allerdings mehr als 0,5 Hunderttheile Chrom oder 4 Hunderttheile Wolfram enthält. Die Eigenschaften, welche diese Metalle neben der grösseren Härte dem Stahle verleihen, wurden bereits a. a. O., sowie auf Seite 660, 670, 671 besprochen.

Mitunter giebt man dem eingesetzten Stahle einen kleinen Zusatz von Braunstein (bis zu 5 Hunderttheilen vom Gewichte des Einsatzes). Mangan wird daraus reducirt und in den Stahl geführt; die Gasentwickelung beim Giessen pflegt geringer auszufallen, und der Stahl wird leichter schmiedbar.[1]) Nicht aller Stahl verträgt aber einen Mangangehalt von mehr als 0,2 Hunderttheilen, welcher die Sprödigkeit um so deutlicher erhöht, je kohlenstoffreicher der Stahl ist. Werkzeugstahl ist in dieser Beziehung empfindlicher als Formgussstahl.

Aehnlich wirkt ein Zusatz von Eisenmangan zu demselben Zwecke. Durch das bereits in metallischem Zustande vorhandene Mangan wird aber der Neigung des Stahles, Kohlenstoff aus den graphithaltigen

1) Näheres über den chemischen Einfluss des Braunsteinzusatzes unter: Chemischer Verlauf des Tiegelstahlschmelzens.

Tiegelwänden aufzunehmen, in starkem Maasse Vorschub geleistet und Silicium reducirt (Seite 285); bei einigermaassen reichlichem Zusatze kann infolge dieser Vorgänge ein roheisenartiges Erzeugniss entstehen.[1]) Hierbei werden die Tiegelwände stark angegriffen. Je graphitreicher die Tiegel sind, desto deutlicher pflegt jene Wirkung des Manganzusatzes zu sein.

Soll der Stahl für Formgussdarstellung benutzt werden, so giebt man auch wohl einen mässigen Zusatz eines phosphorarmen grauen Roheisens oder einen geringen Zusatz Siliciumeisens, um den Siliciumgehalt anzureichern und dadurch die Erzielung dichter Güsse zu befördern. Bei Darstellung von Werkzeugstahl würde auch dieser Zusatz misslich sein, zumal, da ohnehin eine Zunahme des Siliciumgehaltes beim Schmelzen stattzufinden pflegt.

Der einzusetzende Stahl wird, sofern er von vornherein für die Tiegelstahlerzeugung bestimmt ist, schon zuvor zu quadratischen Stäben von etwa 20 mm Stärke ausgereckt und glühend in Wasser geworfen. Er wird dadurch hart und spröde und lässt sich ohne Schwierigkeit in Stücke zerbrechen, welche nach dem Bruchaussehen gesondert werden. Auch die übrigen einzusetzenden Materialien — Stahlabfälle, Wolframeisen, Braunstein u. a. m. — werden derartig zerkleinert, dass der Tiegel möglichst dicht gefüllt werden kann.

Auf den meisten Werken füllt man die Tiegel, welche in diesem Falle zwar in stark geheizten Räumen getrocknet, aber noch nicht gebrannt sind, kalt, setzt sie dann in einen Glühofen, in welchem sie nunmehr erst gebrannt werden, und bringt sie aus dem Glühofen, in welchem sie bis zur dunklen Rothgluth erwärmt wurden, unmittelbar in den schon glühenden Schmelzofen. Als Glühofen pflegt ein Flammofen mit Rostfeuerung und ebener Herdsohle benutzt zu werden. Er wird erst geheizt, nachdem die Tiegel eingesetzt worden sind; das Feuern währt etwa 10 Stunden, worauf man die Tiegel herausnimmt und den Ofen der Abkühlung überlässt, welche ungefähr die gleiche Zeit als das Heizen zu beanspruchen pflegt. Für einen unterbrochenen Betrieb müssen demnach mehrere Glühöfen zur abwechselnden Benutzung vorhanden sein. In anderen Fällen erhitzt man die leeren Tiegel in dem Glüh- oder Vorwärmofen auf die angegebene Temperatur, bringt sie aus diesem unmittelbar in den Schmelzofen und füllt sie erst hier mit Hülfe eines aus Eisenblech gefertigten Fülltrichters. Für die Bewegung der Tiegel dienen lange Zangen, welche theils von der Seite aus, theils von oben her den Bauch des Tiegels umfassen.

Wenn das Füllen und das Einsetzen der Tiegel beendet ist, die Deckel aufgelegt sind, beginnt das Schmelzen. Es pflegt bei Gasfeuerung etwa vier Stunden, bei Koksfeuerung und grossen Oefen fünf bis sechs Stunden Zeit zu beanspruchen, wobei die Zeit für das Einsetzen und Herausnehmen der Tiegel mit eingerechnet ist.

Sobald der Stahl im Tiegel flüssig geworden ist, tritt ein heftiges Wallen (Kochen) ein, durch entweichendes Kohlenoxyd hervorgerufen.

Mit Hülfe einer Eisenstange, welche durch die früher erwähnte

1) Versuche auch hierüber sind unten (Chemischer Verlauf des Tiegelstahlschmelzens) mitgetheilt.

Oeffnung des Tiegeldeckels hindurchgesteckt wird, untersucht der Schmelzer die Beschaffenheit des Metalls. Er fühlt, ob die Stange leicht bis auf den Boden des Tiegels hindurchgeht, und beurtheilt nach der Beschaffenheit der daran haftenden Schlacke und des Stahles den Verlauf des Schmelzens. Die Schlacke ist im Anfange schwarz und wird später infolge des Austretens von Eisenoxydul heller; eine bestimmte Färbung kann jedoch nicht für alle Fälle maassgebend sein, da sie zum Theil von der Beschaffenheit des Einsatzes abhängt. Nur im Anfange des Schmelzens zeigt sich erstarrter Stahl an der Probirstange; später, wenn der Stahl „gaar" wird, d. h. wenn das Wallen aufgehört hat, ist die Temperatur derartig gestiegen, das geschmolzene Metall so dünnflüssig geworden, dass die Stange ziemlich frei von anhaftendem Stahl wieder herauskommt. Als ein deutliches Merkmal des Gaarwerdens dient auch das Aufhören des Funkensprühens der aus dem Tiegel herauskommenden Probirstange.

Man lässt nun den Stahl, nachdem er dünnflüssig geworden ist und die Gasentwickelung aufgehört hat, eine Zeitlang im Ofen „abstehen" oder „nachkochen", d. h. man überlässt ihn der ruhigen Erhitzung (ohne im Schachtofen frische Koks nachzuschütten), wodurch die Gefahr des Steigens in der Gussform verringert wird, und schreitet alsdann zum Giessen.

Der Ofendeckel wird abgehoben, der Arbeiter erfasst den Tiegel mit einer Zange, hebt ihn heraus und befördert ihn nach der Stelle, wo der Guss stattfinden soll. Beim Heben schwerer Tiegel hängt die Zange an einer Kette, welche an einem Hebel befestigt ist; eine Rolle, an welcher der letztere hängt, dient zum leichteren Fortschaffen. Während das Herausheben aus den Schmelzöfen, deren Einsatzöffnung sich oben befindet, mit einer Zange geschehen muss, welche den Tiegel von obenher erfasst, deren Schenkel also senkrecht stehen, ergreift nunmehr ein anderer Arbeiter den Tiegel, welcher an Ort und Stelle gebracht und hier auf dem Boden abgesetzt ist, mit einer Zange mit wagerecht liegenden Schenkeln und entleert ihn durch allmähliches Kippen, während ein dritter Arbeiter die auf der Oberfläche des Stahles schwimmende Schlacke u. s. w. mit Hülfe eines eisernen Stabes zurückhält.

Sollen mehrere Tiegel in eine gemeinschaftliche Form entleert werden, so ist es unbedingt erforderlich, das Ausgiessen so zu regeln, dass der Metallstrahl gleichmässig und ununterbrochen in die Form einfliesst. Tritt nur für einen Augenblick eine Unterbrechung ein, so entsteht an dieser Stelle infolge der Oxydation an der Oberfläche eine unganze Stelle (Kaltschweisse genannt), wo der Zusammenhang des Stahles unvollständig ist, und das Gussstück ist meistens unbrauchbar. Mit der Grösse der zu giessenden Blöcke oder Abgüsse, mit der Anzahl der Tiegel also, welche entleert werden müssen, wächst die Schwierigkeit der Erfüllung jener Bedingung. Eine mit feuerfester Masse ausgekleidete Rinne wird nach der Form geleitet, und in diese Rinne entleeren die Arbeiter in genau vorgeschriebener Aufeinanderfolge ihre Tiegel; oder man stellt über der Gussform ein topfartiges, mit feuerfester Masse ausgekleidetes und mit einer Ausflussöffnung im Boden versehenes Gefäss auf, in welches rasch die Tiegel ausgegossen werden,

so dass nunmehr ein gleichmässiger Strahl des flüssigen Metalls aus jener Oeffnung in die Form gelangt.

Bei Darstellung des mehrfach erwähnten Mitisgusses dient eine mit besonderer Heizvorrichtung versehene Giesspfanne zur Aufnahme des strengflüssigen Metalls.[1])

Will man dem geschmolzenen Metalle noch Zusätze geben (Aluminium, dessen Zusatz bei Darstellung von Mitisguss regelmässig, bei Darstellung gewöhnlichen Tiegelstahl-Formgusses häufig angewendet wird), so bringt man diese ebenfalls in das zur Aufnahme des Metalls dienende Gefäss und giesst das Metall darüber, sofern man nicht etwa nur aus einem einzigen Tiegel giesst.

Brauchbarer Tiegelstahl muss ruhig fliessen und darf in der Form nicht steigen, ein Beweis, dass er gelöste Gase nicht in bedeutender Menge enthielt. Steigender Stahl pflegt als Ausschuss behandelt zu werden.

Ueber den Brennstoffverbrauch beim Schmelzen wurde schon bei Besprechung der Schmelzöfen das Erforderliche mitgetheilt. Eigentlicher Abbrand findet nicht statt, da eine Verbrennung der Bestandtheile fast gänzlich ausgeschlossen ist; ein geringer Abgang aber, auf mechanischen Verlusten beruhend, ist unvermeidlich. Er pflegt 2 bis 4 Hunderttheile vom Einsatzgewicht zu betragen.

Wie schon in der Einleitung erwähnt worden ist, lässt sich das Verfahren der Tiegelstahldarstellung in mehrfacher Weise abweichend gestalten.

Mehrfach hat man versucht, durch Zusammenschmelzen von Roheisen mit Schmiedeeisen im Tiegel Stahl darzustellen. Schwieriger aber als bei dem Schmelzen von Schweissstahl gelingt es hierbei, ein Erzeugniss zu gewinnen, welches genau den richtigen Kohlenstoffgehalt besitzt, nicht zu reich an Silicium und Mangan ist und ebenso frei als in jenem Falle von schädlichen Fremdkörpern.

Eine andere Form der Tiegelstahldarstellung entsteht, wenn man statt des Stahles Schmiedeeisen in so innigem Gemische mit kohlenstoffhaltigen Körpern schmelzt, dass es seinen Kohlenstoffgehalt anreichert und sich in Stahl umwandelt. Das Verfahren hat nur eine einzige Anwendung gefunden, und zwar in Centralindien zur Darstellung des Wootz- oder Damaststahles, bekannt als vorzügliches Material für Hieb- und Stichwaffen. Wie man erzählt, werden zu diesem Zwecke kleine Stücke des in Stücköfen aus Erzen dargestellten Schweisseisens zusammen mit Holzstücken in einen Tiegel gepackt und stark erhitzt. Wo das Holz, welches rasch verkohlt, mit dem Eisen in Berührung war, wird ein kohlenstoffreicheres und deshalb in niedrigerer Temperatur schmelzendes Eisen gebildet, welches flüssig wird und die Zwischenräume zwischen den nicht geschmolzenen Stücken ausfüllt. Man lässt den Tiegel erkalten und zerschlägt ihn. Das Erzeugniss ist ein Klumpen Schweisseisen, von zahlreichen Stahladern durchzogen, ein Material, welches die Zähigkeit des ersteren mit der Härte des letzteren vereinigt. Es wird ausgeschmiedet und weiter verarbeitet; die fertigen

1) Beschreibung: Revue universelle, a. a. O.

Waffen aber werden mit Säuren gebeizt. Die kohlenstoffärmeren Theile werden von den letzteren stärker angegriffen als die kohlenstoffreicheren, und so entstehen jene unregelmässigen Figuren auf der Oberfläche, welche das eigenthümliche Merkmal dieses Stahles bilden und mitunter mit Gold oder Silber ausgelegt werden.

Auch durch Zusammenschmelzen von Eisenerzen und Roheisen hat man versucht, Tiegelstahl zum Ersatze des in gewöhnlicher Weise erzeugten darzustellen. Der chemische Vorgang hierbei wurde schon auf Seite 867 angedeutet; durch den Mangan-, Silicium- und Kohlenstoffgehalt des Roheisens wird der Eisengehalt der Erze zum grossen Theile reducirt, und entsteht ein Stahl, dessen Kohlenstoffgehalt von dem Verhältnisse der eingesetzten Materialien zu einander und von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängig ist.

Eine gewisse Bedeutung erlangte dieses Verfahren durch Uchatius in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts, und man gab dem auf diese Weise dargestellten Stahl die Bezeichnung Uchatiusstahl. Auf einigen Werken Oesterreichs, Russlands, Schwedens, Englands war das Verfahren längere Zeit in Anwendung. Das zu verwendende Roheisen, welches möglichst rein von schädlichen Beimengungen sein musste, wurde durch Eingiessen in Wasser gekörnt und mit ebenfalls möglichst reinen, gepulverten Erzen zusammen in einen Graphittiegel eingesetzt. Ausser den Eisenerzen pflegte man auch etwas Braunstein beizufügen, z. B. 100 Theile Roheisen, 25 Theile Spatheisenstein, 1,5 Theile Braunstein; auch wohl etwas Salpeter und Holzkohle. Für weniger harten Stahl setzte man noch ausserdem 12—20 Theile Schmiedeeisen auf 100 Theile Roheisen zu. Das Verfahren verfolgt denselben Zweck, wie das schon ältere Verfahren der Stahldarstellung aus Roheisen und Schmiedeeisen: die Benutzung des ziemlich kostspieligen Schweissstahles soll entbehrlich werden. Es leidet aber auch an denselben Schwächen wie jenes Verfahren: die fremden schädlichen Bestandtheile des Roheisens, zu denen hier noch diejenigen der Erze hinzukommen, gehen in den Stahl über, und noch grösser als beim Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen ist die Schwierigkeit, ein Erzeugniss von bestimmter chemischer Zusammensetzung zu erlangen, da für den Verlauf der Reduction des Erzes in jedem einzelnen Falle nicht allein das Gewichtsverhältniss zwischen Erz und Roheisen und die chemische Zusammensetzung dieser Körper, sondern auch die herrschende Temperatur und die Beschaffenheit der Tiegel maassgebend sind. Ausserdem machte man die Beobachtung, dass der gewonnene Stahl, selbst wenn er anfänglich als vortrefflich sich erwies, doch beim Härten rasch an Güte verlor und leicht Risse bekam.[1]) Das Verfahren ist kaum noch in Anwendung.

Endlich möge eines in neuerer Zeit mitunter, und zwar besonders in solchen Fällen zur Anwendung gebrachten Verfahrens erwähnt werden, wo es sich um Darstellung sehr grosser Abgüsse handelt. Man erzeugt zunächst Flussstahl durch das später zu besprechende billigere Martinverfahren, giesst ihn im flüssigen Zustande in die zuvor zum Glühen erhitzten Tiegel und setzt diese in einen der be-

1) Einiges Nähere hierüber: Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1886, Seite 782.

sprochenen Siemensöfen ein, in welchen sie eine halbe Stunde oder länger verweilen, um dann, wie gewöhnlich, entleert zu werden. Das Metall verliert bei diesem Abstehen im Tiegel die Neigung, Gase zu entwickeln, und liefert dichtere Güsse. Ob das Erzeugniss aber den Namen Tiegelstahl im eigentlichen Sinne verdient, möge hier unentschieden bleiben. Es ist ein durch die nachträgliche Erhitzung im Tiegel veredelter Martinstahl.

d) Der chemische Verlauf des Tiegelstahlschmelzens.

Der in den Tiegeln eingesetzte Stahl bringt stets eine gewisse Menge von Oxyden mit. Die einzelnen Stücke sind mit Oxyduloxyd (Hammerschlag) überzogen, auch wohl hier oder da etwas angerostet; aller Schweissstahl enthält Schlacke eingeschlossen, welche als Hauptbestandtheil Eisenoxyduloxyd enthält. Ausserdem befindet sich atmosphärische Luft im Tiegel zwischen den einzelnen Stücken des Einsatzes. Beim Schmelzen bilden die vorhandenen oder unter der Einwirkung der eingeschlossenen Luft gebildeten Oxyde zunächst eine eisenreiche Schlacke, welche oxydirend auf den Kohlenstoffgehalt des Stahles einwirkt. Kohlenoxyd wird entwickelt und ruft das oben erwähnte Wallen des Stahles hervor; die Schlacke ist wegen ihres reichen Eisengehaltes dickflüssig und erstarrt löcherig wegen des Entweichens von Kohlenoxyd. Sind die Tiegel graphitarm, so kann demnach in diesem Abschnitte des Schmelzens eine Abnahme des Kohlenstoffgehaltes eintreten. Müller fand, dass beim Schmelzen eines Frischfeuerstahles mit 0,94 Hunderttheilen Kohlenstoff in gänzlich kohlenstofffreien Thontiegeln der Kohlenstoffgehalt sich auf 0,49 Hunderttheile verringerte.[1])

Enthalten aber die Tiegel einigermaassen beträchtliche Mengen von Kohlenstoff (Graphit), so wird hierdurch Ausgleich geschaffen, und eine Kohlenstoffabnahme im Stahle ist nicht bemerkbar.

Bei Fortsetzung des Schmelzens wird allmählich die Schlacke eisenärmer, theils wegen dieser Einwirkung des Kohlenstoffgehaltes auf ihren Eisengehalt, ausserdem auch wegen der stattfindenden Auflösung von Tiegelmasse, also Vermehrung der Schlackenmenge. Sie wird dünnflüssiger und verliert ihre oxydirende Kraft; die Berührung des beim Auflösen der Tiegelmasse freigelegten Kohlenstoffs mit dem jetzt hocherhitzten Stahl aber giebt diesem Gelegenheit, noch Kohle aufzunehmen. Je kohlenstoffreicher die Tiegel sind und je kohlenstoffärmer der Einsatz, desto deutlicher pflegt diese Kohlenstoffaufnahme zu sein. Neben der Kohlenstoffaufnahme findet Reduction von Silicium aus den Tiegelwänden und Aufnahme durch das geschmolzene Metall statt. Auch dieser Vorgang wird durch einen hohen Kohlenstoffgehalt der Tiegel befördert. Nachstehende Ziffern, welche verschiedenen, theils von Müller[2]), theils von mir[3]) angestellten Versuchen entstammen,

1) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 699 und 700. Die hier beobachtete Kohlenstoffabnahme fand während der gesammten Zeitdauer des Schmelzens (nicht blos während des Einschmelzens) statt.

2) „Stahl und Eisen" 1885, Seite 182; 1886, Seite 700.

3) Ebendaselbst 1885, Seite 371.

können zur Beleuchtung dieses Einflusses eines abweichenden Kohlenstoffgehaltes der Tiegel dienen.

Thontiegel mit nur 5 Hunderttheilen Kokszusatz, also etwa 4 Hunderttheilen Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweissstahl vor dem Schmelzen	0,78	0,10	0,17
„ nach einmaligem Schmelzen .	0,70	0,14	0,12
Tiegelstahl	0,45	0,08	0,11
Derselbe, nochmals geschmolzen	0,33	0,10	n. best.
Tiegelstahl	1,26	0,20	1,40
Derselbe, nochmals geschmolzen	1,03	0,48	0,83

Graphittiegel mit etwa 25 Hunderttheilen Kohlenstoff (Ledebur).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweissstahl vor dem Schmelzen	0,73	0,02	0,13
„ nach einmaligem Schmelzen .	0,75	0,08	0,18
Schweissstahl vor dem Schmelzen	0,94	0,10	0,26
„ nach einmaligem Schmelzen .	0,74	0,10	0,26

Tiegel aus 3 Theilen Graphit und 3¼ Theilen Thon, also mit etwa 40 Hunderttheilen Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweissstahl vor dem Schmelzen	0,94	0,02	0,24
„ nach einmaligem Schmelzen .	1,19	6,36	n. best.
„ „ zweimaligem „ .	1,27	0,63	0,22
Schweisseisen vor dem Schmelzen	0,05	0,02	0,08
„ nach einmaligem Schmelzen .	0,25	0,08	n. best.
„ „ zweimaligem „ .	0,35	0,26	„

Englische Tiegel mit etwa 50 Hunderttheilen Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweissstahl vor dem Schmelzen	1,12	0,02	0,18
„ nach einmaligem Schmelzen .	1,15	0,35	n. best.
„ „ zweimaligem „ .	1,10	0,61	0,14
Schweisseisen vor dem Schmelzen	0,09	0,02	0,09
„ nach einmaligem Schmelzen .	0,32	0,20	n. best.
„ „ zweimaligem „ .	0,39	0,39	0,10

Tiegel aus 5 Theilen Graphit und 1 Theil Thon, also mit etwa 70 Theilen Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweissstahl vor dem Schmelzen	0,91	0,03	0,21
„ nach einmaligem Schmelzen .	1,13	0,31	n. best.
„ „ zweimaligem „ .	1,45	0,62	0,19
Schweisseisen vor dem Schmelzen	0,04	Spur	0,11
„ nach einmaligem Schmelzen .	0,72	0,29	n. best.
„ „ zweimaligem „ .	0,67	0,62	0,09

Im Allgemeinen ist die Anreicherung des Kohlenstoff- und des Siliciumgehaltes in den kohlenstoffreichsten Tiegeln am stärksten; aber die Versuche zeigen auch, dass hier Nebenumstände, welche sich

nicht immer mit völliger Sicherheit aufklären lassen, z. B. Eintreten oxydirender Gase in den Tiegel, eine Rolle spielen können. Beim Schmelzen von Stahl in englischen Tiegeln ist der Kohlenstoffgehalt unverändert geblieben, während der Siliciumgehalt beträchtlich zunahm; bei dem einen Schmelzversuche in Graphittiegeln mit 25 Hunderttheilen Kohlenstoff ist sogar eine Kohlenstoffabnahme nachgewiesen worden. Dass in der gegen Ende des Schmelzens herrschenden hohen Temperatur Kohlenstoff verbrennen kann, ohne dass Silicium zu verbrennen braucht, entspricht vollständig dem auf Seite 257 besprochenen Verhalten dieser Bestandtheile des Eisens.

Ueber die stärkere Anreicherung des Siliciumgehaltes beim Schmelzen in kohlenstoffreicheren Tiegeln geben auch einige von Reiser angestellten Versuche Aufschluss.[1]) In drei Tiegeln mit verschiedenem Graphitgehalte wurden gleiche Einsätze, bestehend aus 30 Theilen Rohstahl und 70 Theilen Schmiedeeisen, geschmolzen. Nach dem Schmelzen ergab die Analyse einen Siliciumgehalt der drei Stahlsorten:

in Bauxittiegeln mit etwa 9 Hunderttheilen reinem Kohlenstoffgehalte geschmolzen Si = 0,144;
in gewöhnlichen Tiegeln mit etwa 28 Hunderttheilen reinem Kohlenstoffgehalte geschmolzen Si = 0,274;
in gewöhnlichen Tiegeln mit etwa 40 Hunderttheilen reinem Kohlenstoffgehalte geschmolzen Si = 0,392.

Schon oben wurde erwähnt, dass durch einen hohen Gehalt des Einsatzes an metallischem Mangan ebenfalls die Aufnahme von Kohlenstoff und Silicium befördert werde, so dass unter Umständen Roheisen beim Schmelzen entstehen kann, während die Tiegel stark angegriffen werden. Zur eingehenden Untersuchung dieses Einflusses wurde auf meinen Wunsch in einer Tiegelstahlhütte Frischfeuerstahl theils mit, theils ohne Zusatz von Eisenmangan wie gewöhnlich geschmolzen, worauf die Stahlblöcke von mir untersucht wurden.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
der Rohstahl enthielt	1,29	0,12	0,01
der Tiegelstahl aus diesem Rohstahle, ohne Manganzusatz erzeugt, enthielt:			
in Tiegeln mit etwa 28 Hunderttheilen Kohlenstoffgehalt geschmolzen	1,14	0,10	0,23
in Tiegeln mit etwa 40 Hunderttheilen Kohlenstoffgehalt geschmolzen	1,24	0,15	0,24
das angewendete Eisenmangan enthielt Kohlenstoff = 4,70, Mangan = 46,54, Silicium = 2,07 Hunderttheile;			
also enthielt ein Einsatz aus 100 Theilen Rohstahl und 2 Theilen Eisenmangan	1,34	1,01	0,05
der Stahl aus diesem Einsatze in Tiegeln mit etwa 40 Hunderttheilen Kohlenstoff geschmolzen enthielt	1,86	0,75	0,49.

Bei einem anderen Versuche wurde Rohstahl theils wiederum für sich, theils unter Zusatz von $^1/_{28}$ seines Eigengewichtes Eisenmangan mit 6,61 Hunderttheilen Kohlenstoff, 72,76 Hunderttheilen Mangan, 0,69 Hunderttheilen Silicium geschmolzen. Es ergab sich:

1) Persönliche Mittheilung des Herrn Hüttendirector Reiser in Kapfenberg.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Rohstahl vor dem Schmelzen	0,73	0,13	0,02
„ nach „ „ ohne Zusatz . . .	0,75	0,18	0,08
Rohstahl mit Manganzusatz vor dem Schmelzen . .	0,92	2,63	0,04
„ „ „ nach „ „ . .	2,81	1,32	0,37

Hier ist in der That Roheisen entstanden.

Je länger der Stahl noch zum Zwecke des Abstehens im Tiegel verweilt, nachdem die eigentliche Schmelzung vollbracht ist, desto deutlicher macht sich dieser Einfluss des Mangangehaltes geltend, wie nachstehender, von Müller angestellter Versuch[1]) erweist.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Rohstahl mit Eisenmanganzusatz, vor dem Schmelzen	1,03	2,45	0,14
Nach dem Schmelzen und 1/4 stündigem Abstehen .	1,04	1,82	0,19
Nach dem Schmelzen und 1 3/4 stündigem Abstehen in hoher Temperatur	1,36	0,83	0,64

Die Ursache dieser Einwirkung ist in mehreren Umständen zu suchen. Silicium wird unmittelbar durch Mangan aus der Tiegelwand reducirt; die Neigung des Eisens, Kohlenstoff aufzunehmen, wird durch den Mangangehalt verstärkt. Eine ausgiebigere Gelegenheit zur Kohlenstoffaufnahme als beim Schmelzen manganarmer Einsätze ist aber dadurch gegeben, dass durch die entstehende manganoxydulreiche Schlacke die Tiegelwände stark angegriffen werden und hierbei eine reichliche Menge Kohlenstoff freigelegt wird, welcher nunmehr der Berührung durch den flüssigen Stahl in stärkerem Maasse als zuvor preisgegeben ist.

Während in allen Fällen, wo der Einsatz metallisches Mangan enthält und die Schlacke anfänglich frei von Mangan ist, eine Abnahme des Mangangehaltes im Stahle durch Verschlackung eintritt, wird umgekehrt aus der Schlacke Mangan reducirt, wenn man beim Schmelzen manganarmer Einsätze Braunstein zusetzt und hierdurch von vornherein Gelegenheit zur Bildung einer manganreichen Schlacke giebt. Auch in diesem Falle wird die Tiegelwand durch die manganreiche Schlacke stark angegriffen, ihr Kohlenstoffgehalt wird freigelegt, und der Stahl findet dadurch vermehrte Gelegenheit zur Kohlenstoffaufnahme; eine Reduction von Silicium dagegen findet nicht in stärkerem Maasse als ohne Braunsteinzusatz statt, da das Mangan, welches nur in metallischer Form als Reductionsmittel für Silicium dienen kann, erst gegen Ende des Schmelzens selbst reducirt wird. So lange eine manganoxydulreiche und deshalb basische Schlacke zugegen ist, muss diese sogar die Reduction des Siliciums erschweren. Bei zweimaligem Schmelzen von Schweissstahl in Tiegeln mit etwa 40 Hunderttheilen Kohlenstoff unter jedesmaligem Zusatz von 1 Hunderttheil Braunstein fand Müller folgende Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Rohstahl vor dem Schmelzen	0,91	0,14	0,05
„ nach einmaligem Schmelzen mit Braunsteinzusatz	1,31	0,56	0,20
Rohstahl nach zweimaligem Schmelzen mit Braunsteinzusatz	1,62	0,74	0,35

Der Widerspruch, dass in dem einen Falle metallisches Mangan oxydirt, in dem andern unter ganz ähnlichen Verhältnissen Mangan aus der

1) „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 698.

Schlacke reducirt wird, findet seine Erklärung, wenn man die abweichende Zusammensetzung der entstehenden Schlacke in's Auge fasst. Bei Braunsteinzusatz zu einem manganarmen Stahle entsteht schon beim Schmelzen eine reichliche Schlackenmenge mit hohem Mangangehalte. Der anwesende Gehalt an Eisenoxyd wird hierdurch stark verdünnt, und seine Fähigkeit, oxydirend auf die Bestandtheile des Stahles zu wirken, wird abgeschwächt. Mangan wird aus der Schlacke reducirt. Schmelzt man dagegen einen an metallischem Mangan reichen Einsatz, so entsteht anfänglich aus den wie gewöhnlich anwesenden Eisenoxyden eine geringere Menge eisenoxydulreicher Schlacke, welche das Bestreben besitzt, ihren Eisengehalt gegen das leichter oxydirbare Mangan des Einsatzes auszutauschen, und dieses Bestreben wird verstärkt durch die Berührung des Metalls mit den kieselsäurereichen Wänden des Tiegels. Bei welchem Verhältnisse des Mangangehaltes in der Schlacke zu dem im Stahle Gleichgewichtszustand stattfindet, d. h. weder Reduction noch Oxydation eintritt, ist bislang nicht ermittelt worden; jedenfalls ist die Zusammensetzung der Tiegel und die herrschende Temperatur auch hierfür maassgebend. Im Uebrigen verhalten auch zwei Einsätze mit gleich hohem Mangangehalte sich abweichend, wenn in dem einen Falle das Mangan bereits einen Bestandtheil des eingesetzten Stahles bildete, in dem andern Falle dagegen als Eisenmangan zugesetzt wurde. Letzteres enthält das Mangan im weniger stark verdünnten Zustande; seine Wirkung ist kräftiger, zumal da es noch vor dem Stahle flüssig wird.

Enthalten die Tiegel Schwefel, so kann beim Schmelzen eine Schwefelaufnahme durch das Metall stattfinden. Brand beobachtete bei einem länger fortgesetzten Schmelzen eines Einsatzes mit 0,029 Hunderttheilen Schwefel in Kokstiegeln mit 0,37 Hunderttheilen Schwefel eine allmähliche Anreicherung des Schwefelgehaltes auf 0,051 Hunderttheile; ähnliche Ergebnisse lieferte das Schmelzen in Graphittiegeln, und selbst beim Schmelzen in Magnesiatiegeln war eine Schwefelzunahme bemerkbar.[1]) Der Mangangehalt des Einsatzes bei den hier erwähnten Versuchen betrug 0,74 Hunderttheile, war also nicht gerade unerheblich.

Der Phosphorgehalt der Tiegel ist kaum jemals so erheblich, um einen Einfluss zu üben.

Ueber die Veränderungen, welche die Zusammensetzung der Schlacke beim Tiegelstahlschmelzen erleidet, fehlt bislang jedwede Ermittelung. Nur vereinzelt sind überhaupt Untersuchungen von Tiegelstahlschlacken angestellt worden, und fast immer hat man die Endschlacken hierfür benutzt. Einige Beispiele der Zusammensetzung mögen hier folgen:

	I	II	III	IV
SiO_2 . . .	44,40	41,24	40,86	44,36
Al_2O_3 . . .	28,80	35,85	n. best.	18,05
FeO . . .	1,08	2,30	4,00	4,41
Fe_2O_3 . . .	—	—	—	3,66 (?)
MnO . . .	24,04	18,45	30,52	17,43
CaO . . .	0,87	n. best.	n. best.	7,74
{Ca	0,29	„	„	n. best.
{S	0,23	„	„	„
MgO . . .	Spur	„	„	„

1) Berg- und hüttenm. Ztg. 1885, Seite 107, 117, 119.

I. Endschlacke vom Tiegelstahlschmelzen in Bochum, dunkelgrün, blasig; von mir untersucht. Zusammensetzung des Einsatzes unbekannt.

II. Graue Schlacke (Endschlacke), bei Erzeugung des auf Seite 882 erwähnten Stahles mit 1,36 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,83 Hunderttheilen Mangan entstanden. Nach Müller („Stahl und Eisen" 1886, Seite 698).

III. Graue Schlacke (Endschlacke), beim Schmelzen von 29,2 kg Schweissstahl mit 0,8 Hunderttheilen Eisenmangan entstanden. Das Erzeugniss enthielt 2,60 Hunderttheile Kohlenstoff, 1,17 Hunderttheile Mangan. Nach Müller („Stahl und Eisen" 1886, Seite 699).

IV. Dunkelbraungrüne Schlacke, Probe unmittelbar nach beendigtem Einschmelzen eines Einsatzes mit 0,74 Hunderttheilen Mangan, 0,23 Hunderttheilen Kohlenstoff im Kokstiegel genommen. Der Mangangehalt hatte sich beim Einschmelzen auf 0,36 Hunderttheile verringert. Nach Brand (Berg- und hüttenm. Ztg. 1885, Seite 106).

Der höhere Eisengehalt dieser Schlacke entspricht dem oben geschilderten Verlaufe des Tiegelstahlschmelzens; dass indess, trotz der Berührung mit dem Kohlengehalte der Tiegel und trotz der bereits stattgehabten reichlichen Aufnahme von Kieselsäure, noch Eisenoxyd (Fe_2O_3) zugegen gewesen sei, erscheint wenig wahrscheinlich.

e) Der Tiegelstahl.

Unter allen Arten wirklichen Stahles, insbesondere Flussstahles, ist der Tiegelstahl der vorzüglichste. Wäre dem nicht so, würde man längst aufgehört haben, diesen, gegenüber anderen Stahlsorten weit kostspieligeren Stahl zu fertigen.

Verschiedene Gründe liefern die Erklärung für diese Thatsache.

Bei Darstellung von Stahl im Flammofen (Martinofen) ohne die schützende Umhüllung des Tiegels oder in der Bessemerbirne (Thomasbirne) ist der Stahl einer unmittelbaren Berührung mit oxydirenden Gasen oder freiem Sauerstoff der Luft preisgegeben. Eisenoxydul entsteht und löst sich im Metallbade; auch wenn dieses noch ziemlich kohlenstoffreich ist, vermag es Eisenoxydul aufzunehmen, welches durch den anwesenden Kohlenstoffgehalt nur dann allmählich zerstört werden könnte, wenn es möglich wäre, das Metall lange genug flüssig zu erhalten, ohne ihm Gelegenheit zu erneuter Sauerstoffaufnahme zu geben. Man giebt also, um die Zersetzung des Eisenoxyduls zu beschleunigen, einen Zusatz von Mangan (Silicium, Aluminium). Neue Oxyde entstehen; aber sie treten nicht augenblicklich aus, sondern werden vorläufig noch in der Flüssigkeit zurückgehalten, sei es in wirklicher Lösung, sei es in feiner Vertheilung wie ein Niederschlag, den man in wässeriger Lösung gebildet hat. Ein baldiges Ausgiessen des fertigen Stahles muss folgen, damit er nicht auf's neue Sauerstoff aufnehme, und das erstarrte Metall ist demnach zwar frei von Eisenoxydul, aber nicht frei von anderen Oxyden, welche sein Verhalten benachtheiligen (Seite 651, 653). Bei der Bereitung des Tiegelstahles ist durch die kohlenstoffhaltigen Tiegelwände eine längere Berührung des Metalls mit oxydirenden Gasen unmöglich gemacht, und selbst wenn im Beginne des Schmelzens kleine Mengen von Eisenoxydul gelöst werden sollten, werden sie beim Abstehen des Stahles zerstört, ohne dass Zusatz eines Fremdkörpers er-

forderlich ist. Die Ursache der Verschlechterung des Stahles fällt demnach hier weg.

Der nämliche Umstand liefert die Erklärung dafür, dass der abgestandene Tiegelstahl beim Giessen weniger Gase entwickelt und demnach blasenfreiere Abgüsse liefert, als jeder durch andere Verfahren erzeugte Flussstahl. Eine Gelegenheit zur Neubildung von Kohlenoxydgas ist nach dem Abstehen des Tiegelstahles nicht mehr vorhanden; auch die Gelegenheit zum Lösen von Wasserstoffgas ist geringer, da eine unmittelbare Berührung mit Gasen nur in sehr beschränktem Maasse stattfindet. Dass aber auch die sorgfältigste spätere Bearbeitung blasigen Flusseisens unter dem Hammer, der Presse, dem Walzwerke nicht im Stande ist, die nachtheiligen Folgen der Gasentwickelung beim Giessen ganz zu beseitigen, wurde früher erläutert; das Metall ist vorzüglicher, wenn die Gasentwickelung beschränkt war.

In diesen Thatsachen findet auch jenes oben besprochene Verfahren seine volle Berechtigung, bei welchem man Martinstahl (unter Umständen auch Bessemerstahl) nach geschehenem Zusatze von Eisenmangan in Tiegel ausgiesst und einem längeren Abstehen im Tiegelofen unterwirft. Die neu entstandenen Oxyde finden Zeit auszutreten, gelöst gewesenes Gas entweicht. Der Stahl wird veredelt.

Die Zusammensetzung des Tiegelstahles, insbesondere sein Gehalt an Fremdkörpern (Mangan, Silicium, Phosphor, Schwefel, Kupfer) ist verschieden, je nachdem er dazu bestimmt ist, durch Schmieden, Pressen, Walzen weiter verarbeitet zu werden (Werkzeugstahl, Geschützstahl, auch Stahl für geschmiedete Maschinentheile), oder zur Herstellung von Formgussstücken zu dienen. Im ersteren Falle ist es doppelt wichtig, den Gehalt an solchen Fremdkörpern, welche entschieden nachtheilige Einflüsse ausüben (Phosphor, Schwefel, Kupfer), thunlichst niedrig zu halten. Der Phosphorgehalt des vorzüglichsten derartigen Stahles beträgt bisweilen nicht mehr als 0,008 Hunderttheile und bewegt sich in den gewöhnlicheren Fällen zwischen 0,01 bis 0,03 Hunderttheilen; der Schwefelgehalt pflegt höchstens 0,03 Hunderttheile, der Kupfergehalt höchstens 0,20 Hunderttheile zu betragen. Einen Mangangehalt von 0,2 bis höchstens 0,3 Hunderttheilen sieht man wegen seines wohlthätigen Einflusses auf die Schmiedbarkeit gewöhnlich nicht ungern, und man führt ihn durch Braunsteinzusatz dem Stahle zu, wenn der Einsatz nicht schon manganhaltig sein sollte; ein höherer Mangangehalt würde die Sprödigkeit merklich erhöhen. Ein Siliciumgehalt bis 0,2 Hunderttheile pflegt, wie oben besprochen wurde, beim Schmelzen selbst vom Stahle aufgenommen zu werden, und er erleichtert die Erzeugung dichter Güsse; ein höherer Siliciumgehalt pflegt als nachtheilig betrachtet zu werden. Soll der Stahl, zumal der für Werkzeugdarstellung bestimmte, einen höheren Härtegrad erhalten, als durch einen hohen Kohlenstoffgehalt allein erreichbar ist, so giebt man dem Einsatze einen Zusatz von Chrom (Seite 302) oder Wolfram (Seite 304) und erzeugt solcherart Chrom- oder Wolframstahl. Dass letzterer zugleich manganreich zu sein pflege, wurde auf Seite 304 erwähnt.

Der Gehalt des Tiegelstahles an Kohlenstoff ist durch den in's Auge gefassten Härtegrad bedingt. Beispiele hierfür enthält die Tabelle auf folgender Seite; vergleiche auch Seite 663.

Beispiele der Zusammensetzung des für Werkzeuge und ähnliche Zwecke bestimmten Tiegelstahles.

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer (Nickel, Kobalt)
Deutscher Tiegelstahl, für Drehstähle bestimmt, nach Bischoff[1]	1,24	n. best.	0,15	0,016	0,016	n. best.
Steirischer Werkzeugstahl nach Bischoff[1]	1,12	„	0,23	0,023	0,024	„
Drehstahl, welcher trotz seines hohen Silicium- und Mangangehaltes sich vortrefflich bewährte, nach Müller[2] . . .	1,18	0,57	0,40	0,018	n. best.	„
Wie vorstehend	1,09	0,69	0,37	0,019	„	„
Werkzeugstahl von St. Etienne[3] . . .	1,00	0,06	0,08	0,02	0,015	Sp.
„ vom Kapfenberg, von mir untersucht	0,92	0,09	0,12	0,02	0,005	„
Sheffielder Stahl zu Döppern, nach Bischoff[1]	0,75	n. best.	0,23	0,04	0,022	n. best.
Geschützstahl von Krupp (aus den siebziger Jahren), von mir untersucht	0,50	0,11	0,16	0,04	0,03	0,26

Beispiele der Zusammensetzung von Chromstahl und Wolframstahl sind bereits auf Seite 658 gegeben.

Etwas reichere Mengen von Fremdkörpern als im Werkzeugstahle findet man in Formgussstücken; dagegen pflegt ihr Kohlenstoffgehalt durchschnittlich niedriger zu sein, sofern nicht etwa die besondere Verwendung der Abgüsse ein hohes Maass von Härte bedingt, welches nur ein höherer Kohlenstoffgehalt zu ertheilen vermag. Die für den Werkzeugstahl wichtige Eigenschaft der Härtbarkeit ist hier ohne Belang; aber nach dem Ausglühen soll der Stahl sich durch Zähigkeit auszeichnen. Völlig unbenutzbar würden Abgüsse sein, welche reichlich von Gasblasen durchsetzt sind. Zur leichtern Erzielung dichter Güsse giebt man daher gern einen etwas höhern Mangan- und Siliciumgehalt als dem Werkzeugstahle; in der That findet man bisweilen einen Mangangehalt bis nahe an 1,0 Hunderttheil und einen Siliciumgehalt bis zu 0,7 Hunderttheilen. Auch der Phosphorgehalt ist durchschnittlich höher als im Werkzeugstahle und kann in kohlenstoffärmeren Gussstücken bis auf 0,15 Hunderttheile steigen. Nachstehende Ziffern geben den durchschnittlichen Gehalt an Kohlenstoff, Silicium und Mangan in gut bewährten Tiegelstahl-Gussstücken aus deutschen Giessereien.[4])

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Glocken .	1,30	0,35	0,80
Ringe für Erzwalzen	1,10	0,30	0,70
Wasserdruck-Presscylinder, Herzstücke, Scheibenräder	0,80	0,25	0,60
Kleinere Maschinentheile	0,50	0,20	0,50

7. Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen).

a) Einleitung.

Bei beiden in der Ueberschrift genannten Verfahren wird Gebläsewind durch flüssiges Roheisen geleitet, welches in einem entsprechend

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1885, Seite 781.
2) „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 377.
3) Berg- und hüttenm. Ztg. 1870, Nr. 3.
4) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 453.

geformten Behälter befindlich ist und vorher in einem besonderen Ofen geschmolzen wurde. Bei diesem Hindurchleiten werden die fremden Bestandtheile des Roheisens, insbesondere Kohlenstoff, Silicium und Mangan, unter gewissen Bedingungen auch Phosphor, verbrannt und das Roheisen wird in schmiedbares Eisen umgewandelt.

Der Engländer Henry Bessemer nahm im Jahre 1855 ein Patent auf das Hindurchblasen von Luft oder Dampf[1]) durch flüssiges Roheisen zu dessen Umwandlung in Stahl. Mehrere Jahre währte es, bis die ersten, nicht geringen Schwierigkeiten, welche sich der Anwendung des Verfahrens entgegenstellten, glücklich überwunden waren[2]); seit dem Beginn der sechziger Jahre aber fand es rasch Eingang auf verschiedenen Werken und erreichte alsdann bald eine Ausdehnung, welche es ebenbürtig den älteren Verfahren der Darstellung schmiedbaren Eisens zur Seite stellte und eine vollständige Umwälzung im Eisenhüttenbetriebe hervorbrachte.

Bei diesem von Bessemer erfundenen Verfahren (Bessemerverfahren im engeren Sinne oder saures Verfahren genannt) dient ein kieselsäurereiches feuerfestes Material zur Auskleidung der für die Durchführung erforderlichen Vorrichtung. Eisenoxyde, welche im Puddelofen seit einem halben Jahrhunderte sich gut für den gleichen Zweck bewährt hatten, erwiesen sich als vollständig ungeeignet in der für die Flussstahlerzeugung erforderlichen höheren Temperatur; ein anderes basisches und doch ausreichend feuerfestes Material besass man vorläufig nicht. Die beim Frischen entstehenden basischen Oxyde (Eisen- und Manganoxydul) haben demnach beim Bessemerverfahren ausreichende Gelegenheit, sich mit Kieselsäure zu sättigen; Phosphor wird ebensowenig als in anderen Fällen, wo eine kieselsäurereiche Schlacke sich bilden kann, abgeschieden. Um phosphorreines schmiedbares Eisen darzustellen, ist man gezwungen, phosphorreines Roheisen zu verwenden.

Dieser Umstand bildet eine Erschwerung für die Anwendung des Verfahrens in solchen Gegenden, wo phosphorfreie Erze nicht vorhanden sind. Grosse Mengen spanischer und afrikanischer Erze sind seit der Einführung des Bessemerverfahrens auf englischen, deutschen und französischen Eisenwerken verhüttet worden, um daraus ein für jenes Verfahren geeignetes phosphorarmes Roheisen darzustellen.

Dass es möglich sein werde, eine Entphosphorung des Roheisens beim Bessemern herbeizuführen, wenn es gelänge, durch basische Ausfutterung des Behälters und Anwendung basischer Zuschläge eine stark basische Schlacke zu bilden, war schon öfters als Vermuthung, die durch Versuche im Kleinen gestützt wurde, ausgesprochen worden[3]); die Ausführung des Verfahrens im Grossen aber scheiterte an der Schwierigkeit, ein basisches Futter herzustellen, welches in der hohen Temperatur des flüssigen Erzeugnisses ausreichend haltbar ist. Den

1) Dass Dampf für diesen Zweck nicht benutzbar ist, da seine Zerlegung eine grosse Wärmemenge erfordert, welche dem Bade entzogen werden müsste, lässt sich leicht nachweisen.

2) Besondere Verdienste um die Vervollkommnung des Verfahrens erwarb sich der Schwede Goransson auf dem Edske-Eisenwerk im Jahre 1858. Vergleiche „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 920.

3) Besonders durch Snelus. Vergl. unter Literatur dessen Abhandlung im Journal of the Iron and Steel Institute.

Engländern Thomas und Gilchrist gelang es im Jahre 1878 durch Anwendung eines aus gebranntem Dolomit hergestellten Futters (S. 166) und durch Zuschlag von gebranntem Kalk zu dem flüssigen Eisen diese Schwierigkeiten zu überwinden. Die ersten von Erfolg gekrönten Versuche im kleineren Maassstabe wurden auf dem Blaenavon-Eisenwerke in Wales ausgeführt; ihnen folgten später weitergehende Versuche in den Eston-Eisenwerken von Bolkow, Vaughan & Co. bei Middlesborough. Der Bericht aber, welchen die Erfinder auf der im Herbste 1878 in Paris abgehaltenen Versammlung des Iron and Steel Institute über die von ihnen erlangten Ergebnisse zu erstatten beabsichtigten, gelangte nicht einmal zur Verlesung; man hatte nach zahlreichen missglückten Versuchen den Glauben verloren, dass es möglich sein werde, beim Bessemern den Phosphor abzuscheiden. Bereits im April 1879 konnte indess das Verfahren auf dem genannten Eisenwerke zu Middlesborough einer Reihe von Fachmännern vorgeführt werden, und in demselben Jahre wurde es auch schon in Deutschland eingeführt, zuerst von den Rheinischen Stahlwerken bei Ruhrort und dem Hörder Bergwerks- und Hüttenvereine.

Man nennt das Verfahren in dieser Form Thomasverfahren oder basisches Verfahren. In Deutschland ist es, nachdem es in Grossbritannien erfunden worden war, weiter ausgebildet worden, und für Deutschland hat es rasch eine grössere Bedeutung als für alle übrigen Länder der Erde gewonnen. Denn Deutschland besitzt einen grossen Reichthum an phosphorreichen Erzen (Minette in Lothringen, Seite 200; Bohnerze bei Peine, Seite 199), ist aber arm an solchen, welche ein für das ältere Verfahren geeignetes Roheisen liefern können. Im Jahre 1892 wurden auf der ganzen Erde 3203000 t Thomasflusseisen erzeugt und fast zwei Drittel hiervon, nämlich 2013000 t, in Deutschland und Luxemburg. Grossbritannien lieferte in demselben Jahre nur 406000 t.[1])

Beide Verfahren gemeinschaftlich — das saure und das basische — bezeichnet man als Windfrischen, wie schon in der Ueberschrift gesagt worden ist.

Damit das Verfahren überhaupt möglich sei, und damit flüssiges, schmiedbares Eisen daraus hervorgehe, ist es erforderlich, dass die Temperatur des ursprünglich aus Roheisen bestehenden Einsatzes während der Umwandlung in schmiedbares Eisen nicht allein nicht verringert, sondern sogar über die höher liegende Erstarrungstemperatur des letzteren hinaus, gewöhnlich um mehrere Hundert Grade gesteigert werde.[2]) Fremder Brennstoff aber zur Erhitzung des Metalls während des Frischens gelangt nicht zur Anwendung; es ist also zur Durchführung des Verfahrens nothwendig, dass das Roheisen selbst eine ausreichende Menge solcher Körper enthalte, welche bei ihrer Verbrennung die zur Hervorbringung jener Temperatursteigerung erforderliche Wärmemenge entwickeln. Befördert wird ausserdem die Erreichung jenes Zieles durch raschen Verlauf des Frischens und Verarbeitung grosser

1) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 453.

2) Le Chatelier fand als Temperatur des Flusseisens bei Beendigung des Verfahrens 1580 bis 1640 Grad C. (Comptes rendus, vol. 140, p. 471.)

Eisenmengen mit einem Male, so dass die stattfindenden Wärmeverluste durch Ausstrahlung u. s. w. verhältnissmässig unbedeutend ausfallen; endlich auch durch starke vorausgehende Ueberhitzung des Roheisens beim Schmelzen und starke Vorwärmung des Gefässes, in welchem die Verarbeitung von statten geht.

Mit einiger Annäherung lässt sich durch Rechnung ermitteln, wie die einzelnen der Verbrennung unterworfenen Bestandtheile des Roheisens sich hinsichtlich der erforderlichen Temperatursteigerung verhalten. Zur Verbrennung dient atmosphärische Luft; jeder Gewichtstheil Sauerstoff, welcher die Verbrennung bewirkt, führt demnach 3,35 Gewichtstheile Stickstoff als Ballast mit. Dieser Stickstoff sowohl als die entstehenden Verbrennungserzeugnisse (Kieselsäure, Manganoxydul, Eisenoxydul, Kohlenoxyd, Phosphorsäure) müssen auf die Temperatur des Eisenbades erwärmt werden und gebrauchen dazu einen bestimmten Theil der entwickelten Wärme, welche sich ergiebt aus ihrem Eigengewichte mal ihrer spezifischen Wärme mal der Temperatur des Eisenbades; der noch übrig bleibende Rest der entwickelten Wärme kommt dem Eisenbade zu Gute und steigert dessen Temperatur um $\frac{W}{s}$ Grade, in welcher Formel W die an die Gewichtseinheit Eisen abgegebene Wärme, s die spezifische Wärme des flüssigen Eisens bedeutet.[1]) Ist — wie bei dem basischen Verfahren — eine grössere Menge Schlacke zugegen, so nimmt auch diese Wärme auf und die Temperatursteigerung fällt entsprechend geringer aus; in Folgendem, wo es sich mehr um einen Vergleich des Verhaltens der verschiedenen Körper als um eine genaue Berechnung der wirklich stattfindenden Temperatursteigerungen handelt, ist die von der Schlacke aufgenommene Wärme jedoch unberücksichtigt geblieben. Auch diejenige Wärme, welche bei der stattfindenden Zerlegung der Eisenlegirungen verbraucht und welche andererseits bei der Neubildung von Silikaten und Phosphaten frei wird, konnte, da sie nicht bekannt ist, nicht in Rechnung gezogen werden; und ebenso musste die sogenannte latente oder Schmelzungswärme der im flüssigen Zustande befindlichen und verbrennenden Körper als nur theilweise bekannt vernachlässigt werden.[2])

Bei der Verbrennung des Eisens zu Eisenoxydul werden (nach Seite 48) 1352 W.-E. durch 1 kg Eisen entwickelt. Die Verbrennungserzeugnisse sind 1,28 kg Eisenoxydul, dessen spezifische Wärme zu 0,20 angenommen werden kann, und 0,96 kg Stickstoff mit der spezifischen Wärme 0,25. Demnach nehmen die Verbrennungserzeugnisse, wenn t die Temperatur ist, welche das Eisenbad besitzt, eine Wärmemenge auf $= (1{,}28 \times 0{,}20 + 0{,}96 \times 0{,}25)\ t = 0{,}496\ t$. Zu der durch Verbrennung entwickelten Wärme kommt diejenige Wärme, welche der

1) Spezifische Wärme des Eisens in gewöhnlicher Temperatur 0,11, bei 900 Grad C. nach Weinhold 0,15. Mit der Temperatur steigt bekanntlich die spezifische Wärme fester und flüssiger Körper.

2) Letzterer Umstand kommt weniger bei denjenigen Körpern in Betracht, welche vor und nach dem Verbrennen flüssige Form besitzen (Silicium, Eisen, Mangan), als beim Kohlenstoff, welcher vor dem Verbrennen flüssig, nach dem Verbrennen gasförmig ist. Die Verbrennungswärme des festen Kohlenstoffs und die des gasförmigen ist bekannt (Seite 46), nicht aber die des flüssigen.

verbrennende Körper schon vorher besass, also, wenn man die durchschnittliche spezifische Wärme des Eisens zwischen Null und t Grad zu 0,18 annimmt, 0,18 t; demnach ist die gesammte dem Eisenbade durch Verbrennung von 1 kg Eisen zu Gute kommende Wärme W = 1352 + 0,18 — 0,496 t = 1352 — 0,316 t. Betrug z. B. die Temperatur t des Eisenbades 1500 Grad, so ist W = 878 W.-E. für jedes Kilogramm verbrennenden Eisens; setzt man die spezifische Wärme des Eisens bei 1500 Grad = 0,20, so ist die Temperatursteigerung, welche durch ein Hunderttheil vom Gewichte des Einsatzes verbrennenden Eisens hervorgerufen wird, $\frac{8,78}{0,20}$ = 44 Grad C. Sie ist also nicht sehr erheblich.

Etwas beträchtlicher ist der Einfluss des Mangans. Bei der Verbrennung entsteht Manganoxydul, dessen spezifische Wärme ebenfalls wie die des Eisenoxyduls = 0,20 angenommen werden möge[1]); 1 kg metallisches Mangan liefert 1,29 kg Manganoxydul, wobei 0,96 kg Stickstoff mit erhitzt werden müssen. Setzt man die mittlere spezifische Wärme des metallischen Mangans wie die des Eisens = 0,18 und die Verbrennungswärme nach Seite 48 = 1723 W.-E., so ist die gesammte für die Temperatursteigerung frei werdende Wärme W = 1723 + 0,18 t — (1,29 × 0,20 × 0,96 × 0,25) t = 1723 — 0,32 t. Bei einer Temperatur des Eisenbades = 1500 Grad würde W = 1243 W.-E. und die durch 1 Hunderttheil vom Einsatzgewichte verbrennenden Mangans hervorgebrachte Temperatursteigerung = 62 Grad C. sein.

Kohlenstoff wird innerhalb des hocherhitzten flüssigen Eisens zunächst nur zu Kohlenoxyd verbrannt.[2]) 1 kg fester Kohlenstoff entwickelt hierbei 2473 W.-E. Die Verbrennungswärme des flüssigen Kohlenstoffs ist, wie schon erwähnt wurde, unbekannt. Die Verbrennungserzeugnisse sind 2,33 kg Kohlenoxyd mit der spezifischen Wärme 0,25 und 4,47 kg Stickstoff ebenfalls mit der spezifischen Wärme = 0,25. Setzt man endlich die mittlere spezifische Wärme des unverbrannten Kohlenstoffs = 0,25, so erhält man die dem Metall durch Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff zu Gute kommende Wärme W = 2473 + 0,25 t — (2,33 × 0,25 + 4,47 × 0,25) t = 2473 — 1,45 t. Bei 1500 Grad Temperatur des Eisenbades ist mithin W = 298 und die Temperatursteigerung, welche durch 1 Hunderttheil verbrennender Kohle hervorgebracht wird, nur etwa 6 Grad C. Es ist leicht zu erkennen, dass mit der Zunahme von t, d. i. der Temperatur, welche das Eisenbad schon besitzt, die durch Verbrennung der Kohle hervorgebrachte Temperatursteigerung immer geringer und schliesslich negativ wird, d. h. dass die Verbrennungserzeugnisse mehr Wärme gebrauchen, um auf die Temperatur des Bades erhitzt zu werden, als die Verbrennung liefert; die Temperatur des Bades muss also in diesem Falle bei Verbrennung des Kohlenstoffs abnehmen. Unter Voraussetzung, dass die oben angenommenen Ziffern die Verbrennungswärme des Kohlen-

1) In gewöhnlicher Temperatur nach Regnault 0,157.

2) Kohlensäure wird in den entweichenden Gasen allerdings nicht selten gefunden, sofern ein Ueberschuss von Sauerstoff zugegen ist, d. h. die Gase auch noch freien Sauerstoff enthalten. Dieser unverzehrte Sauerstoff nebst dem von ihm mitgebrachten Stickstoff gebraucht dann ebenfalls Wärme, welche dem Metalle entzogen wird. Der Fall kann hier unberücksichtigt bleiben.

stoffs, die spezifische Wärme des Kohlenoxydes und Stickstoffs genau richtig und auch in höheren Temperaturen unveränderlich wären, würde jener Zeitpunkt in einer Temperatur von etwa 1700 Graden eintreten; in jedem Falle aber liefert die obige Rechnung das für die Beurtheilung des Bessemer- und Thomasverfahrens wichtige und durch die Beobachtungen des Betriebes bestätigte Ergebniss, dass die Verbrennung des Kohlenstoffs im Roheisen nicht im Stande ist, wesentliche Temperaturänderungen im Eisenbade hervorzubringen. Auch wenn man für die Verbrennungswärme des flüssigen Kohlenstoffs eine erheblich höhere Ziffer annehmen wollte, würde sich immerhin nur eine verhältnissmässig geringe Temperatursteigerung durch die Verbrennung des Kohlenstoffs ergeben.

1 kg Silicium entwickelt bei der Verbrennung zu 2,14 kg Kieselsäure (Kieselsäureanhydrid) 7830 W.-E. (Seite 48), wobei durch den erforderlichen Sauerstoff 3,82 kg Stickstoff mitgeführt werden. Die mittlere spezifische Wärme des Siliciums kann = 0,18, die der Kieselsäure = 0,19 angenommen werden. Es ist alsdann $W = 7830 + 0{,}18\,t - (2{,}14 \times 0{,}19 + 3{,}82 \times 0{,}25)\,t = 7830 - 1{,}18\,t$. Bei 1500 Grad ist mithin W = 6060 W.-E. und die durch 1 Hunderttheil verbrennenden Siliciums hervorgerufene Temperatursteigerung etwa 300 Grad C. Auch wenn diese Ziffer wegen der mehrfach erwähnten Ungenauigkeit der Werthe für spezifische Wärme u. s. w. etwas zu hoch sein sollte, ergiebt sich doch aus der Berechnung mit Sicherheit, dass, wie die Erfahrungen des Betriebes längst bestätigt haben, schon kleine Mengen Silicium ausreichend sind, durch ihre Verbrennung wesentliche Temperatursteigerungen des Eisenbades hervorzubringen. Silicium bildet den eigentlichen Brennstoff des sauren Bessemerverfahrens.

Für den Verlauf des Thomasverfahrens endlich ist auch das calorische Verhalten des Phosphors wichtig. 1 kg Phosphor entwickelt bei seiner Verbrennung zu 2,29 kg Phosphorsäureanhydrid 5760 W.-E., wobei 4,00 Gewichtstheile Stickstoff mit erhitzt werden. Die mittlere spezifische Wärme des Phosphors kann = 0,18, diejenige der Phosphorsäure = 0,25 angenommen werden. Es ist demnach $W = 5760 + 0{,}18\,t - (2{,}29 \times 0{,}25 + 4{,}00 \times 0{,}25)\,t = 5760 - 1{,}39\,t$. Bei einer Temperatur des Eisens von 1500 Grad ergiebt sich W = 3675 W.-E. und die durch 1 Hunderttheil Phosphor hervorgerufene Temperatursteigerung = 183 Grad C. 3 Theile Phosphor rufen demnach eine ungefähr gleiche Temperatursteigerung hervor als 2 Theile Silicium; Phosphor ist der wichtigste Brennstoff beim basischen Verfahren.[1]) Dieser Umstand verdient in mehrfacher Hinsicht Beachtung. Die Darstellung eines siliciumreichen Roheisens ist wegen des höheren Verbrauches an Brennstoff und der geringeren Erzeugungsfähigkeit des Hochofens verhältnissmässig kostspielig; die Darstellung phosphorreichen Roheisens mit geringem Siliciumgehalte, also weissen Roheisens, ist dagegen bei niedrigem Brennstoffverbrauche und raschem Gange des Hochofens möglich. Die Erzeugungskosten des letzteren Roheisens sind — ganz abgesehen von

1) Auf diese Rolle des Phosphors machte, bald nach Erfindung des basischen Verfahrens, Professor v. Ehrenwerth aufmerksam. Vergleiche dessen „Abhandlungen über den Thomasprocess“, Seite 44.

den meistens niedrigeren Preisen der Erze — geringer. Je siliciumärmer aber das Roheisen ist, desto phosphorreicher kann es sein, ohne dass die Entphosphorung behindert wird; der mehrfach geschilderte Einfluss, welchen ein Kieselsäuregehalt der Schlacke auf das Verhalten des Phosphors ausübt, liefert die Erklärung hierfür. Es zeigt sich somit bei dem Thomasverfahren die eigenthümliche Erscheinung, dass, während bei allen anderen Verfahren der Darstellung schmiedbaren Eisens ein möglichst geringer Phosphorgehalt des als Material dienenden Roheisens wünschenswerth ist, hier der Verlauf des Verfahrens sogar gefördert wird, wenn der Phosphorgehalt des Roheisens nicht allzu gering ist. Ohne einen ausreichenden Phosphorgehalt würde es kaum möglich sein, das entkohlte Metall stark genug zu erhitzen, um vorzeitige Erstarrung zu vermeiden.

Dennoch würde der Phosphor die Aufgabe, das Silicium als Brennstoff beim basischen Verfahren entbehrlich zu machen, nicht erfüllen können, wenn er nicht zugleich die Eigenschaft besässe, die Schmelztemperatur des Eisens zu erniedrigen, also in dieser Beziehung ebenso wie Kohlenstoff zu wirken. Bei Verarbeitung eines siliciumreichen Roheisens verbrennt ein grosser Theil des Siliciums schon im Anfange des Frischens, die Temperatur des Bades steigt dadurch sofort und erreicht schon, ehe der Kohlenstoff ausgetreten ist, rasch diejenige Höhe, welche erforderlich ist, das entstehende schmiedbare Eisen flüssig zu erhalten. Phosphor aber verbrennt gemäss seinem früher geschilderten Verhalten (Seite 258) zum grössten Theile erst dann, nachdem der Kohlenstoff beinahe vollständig ausgetreten ist. Das Eisen würde also vor der Verbrennung des Phosphors dickflüssig oder gar starr werden, wenn bei der Kohlenstoffverbrennung die Schmelztemperatur des Eisens in demselben Maasse stiege als bei phosphorfreiem Eisen. Auch in dieser Beziehung kann ein hoher Phosphorgehalt nur wohlthätig wirken.

Wie schon erwähnt wurde, lässt sich die Erzielung der zur Durchführung des Verfahrens erforderlichen Temperatur durch Verarbeitung grosser Roheisenmengen mit einem Male und thunlichste Beschleunigung des Frischens befördern. Die Grösse der zu verarbeitenden Einsätze hängt aber beim Bessemer- und Thomasverfahren nur ab von dem Fassungsraume des Behälters und der Leistungsfähigkeit des Gebläses, welches den Wind auf die zum Durchdringen des Eisenbades erforderliche Spannung zu verdichten hat. Jene Beeinträchtigung der Gleichförmigkeit des Erzeugnisses, welche bei anderen Verfahren die Verarbeitung grösserer Einsätze erschwert, fällt hier weg, da das erzeugte Eisen flüssig ist und durch den Wind selbst in stets erneuerter Mischung erhalten wird. Daher verarbeitet man im Grossbetriebe der Jetztzeit selten kleinere Einsätze als 5 t, häufiger 6—8 t, nicht selten 10 t und noch darüber.[1]) Ausnahmsweise jedoch können besondere Verhältnisse, insbesondere mangelnde Verwendung für sehr reichliche Eisenmengen, wohl Veranlassung zur Anlage von Vorrichtungen für Verarbeitung kleinerer Einsätze (0,8—3 t) geben; man nennt in diesem Falle das Verfahren Kleinbessemerei.

1) Auf amerikanischen Werken bisweilen 13 t; dagegen sind die Einsätze auf schwedischen Werken gewöhnlich nicht grösser als 3½ t.

Die Zeitdauer des Frischens ist abhängig von der Menge des zugeführten Windes. Man regelt sie nach der Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Roheisens; sehr siliciumreiches Roheisen, welches schon im Anfange eine rasche Temperatursteigerung erfährt, muss langsamer, siliciumarmes rascher verarbeitet werden. In den meisten Fällen schwankt die Zeitdauer der Verarbeitung zwischen 10—20 Minuten.

Kein anderes Verfahren ist im Stande, in so kurzer Zeit die Verarbeitung so gewaltiger Mengen Roheisen zu schmiedbarem Eisen zu ermöglichen.

Die stets erneuerte Berührung des Metalls mit freiem Sauerstoff begünstigt beim Windfrischen die Aufnahme von Sauerstoff. Daher pflegt man nach Beendigung des Blasens einen Mangan- oder Siliciummanganzusatz zu geben.[1]) Nothwendig ist ein solcher Zusatz in allen den Fällen, wo das Blasen so weit fortgesetzt war, dass nur noch wenig Kohlenstoff im Bade zurückblieb; als zweckmässig hat er sich stets auch da bewährt, wo man, um unmittelbar kohlenstoffreichere Eisensorten darzustellen, das Blasen unterbricht, sobald der ursprüngliche Kohlenstoffgehalt auf das verlangte Maass abgemindert worden ist. Dass schon neben Kohlenstoff Sauerstoff im Bade vorkommen kann, und dass die Einwirkung der beiden Körper auf einander um so mehr verlangsamt, je mehr durch diese Einwirkung ihre Gewichtsmengen verringert werden, wurde schon mehrfach hervorgehoben.

Von dem Kohlenstoffgehalte, welchen das Erzeugniss erhalten soll, hängt es ab, ob man manganreichere oder manganärmere Legirungen (Eisenmangane oder Spiegeleisen) als Zusatz wählt. Je grösser der Mangangehalt des Zusatzes ist, desto geringer braucht die Höhe des Zusatzes bemessen zu sein, um eine bestimmte Manganmenge in das Bad zu bringen, desto weniger Kohlenstoff wird demnach mit eingeführt, desto unbedeutender ist die Anreicherung des Kohlenstoffgehaltes im Flusseisen. Die Möglichkeit, kohlenstoffarmes Flusseisen darzustellen, erlangte man erst, nachdem man gelernt hatte, manganreiche Eisenmangane im Hochofen zu erzeugen.

Will man dagegen einem entkohlten Flusseisen wieder reichliche Mengen von Kohlenstoff zuführen, ohne zugleich den Mangangehalt allzu sehr anzureichern, so giebt die starke Neigung flüssigen, kohlenstoffarmen Eisens, bei einfacher Berührung mit Kohlenstoff diesen aufzunehmen, Gelegenheit hierzu. Man mischt dem übrigens fertigen Eisen, dessen Eisenoxydulgehalt bereits durch Manganzusatz zerstört worden ist, eine entsprechende Menge pulverförmiger Kohle bei, welche rasch und ziemlich vollständig gelöst wird (Darbyverfahren, seit 1889 eingeführt). Einiges Nähere hierüber ist unten bei Beschreibung des Arbeitsverfahrens mitgetheilt.

1) Der Erfinder des Manganzusatzes ist Rob. Mushet, welcher 1856, also sofort nach Bessemers Erfindung, sich das Verfahren in England patentiren liess.

b) Die Birne oder der Converter.

Allgemeine Einrichtung.

In der ersten Zeit nach Erfindung des Bessemerns benutzte man zur Durchführung des Windfrischens einen Behälter, in seiner äusseren Form einem Kupolofen nicht unähnlich, oben mit einem schräg stehenden Halse versehen, durch welchen die Gase entweichen konnten.[1]) Das geschmolzene Roheisen wurde durch eine seitliche, in entsprechender Höhe angebrachte verschliessbare Oeffnung eingefüllt; der Wind strömte durch eine Anzahl Düsen in den Ofen, welche ringsherum am Umfange dicht über dem Boden angebracht waren. Die Entleerung erfolgte durch Oeffnung eines Stichloches wie bei Kupolöfen.

Eine solche Einrichtung besitzt mancherlei Nachtheile. Ist das Metall durch irgend einen Zufall nicht heiss genug, so versetzt sich das Stichloch, und da eine Erhitzung von innen nicht möglich ist, kann eine vollständige Erstarrung eintreten. Ebenso kann es geschehen, dass die Düsen verstopft werden; ausserdem ist die Ausbesserung des Ofens umständlich und zeitraubend.

Aus diesen Gründen hat man fast überall diese ursprüngliche Einrichtung aufgegeben. Man wendet Gefässe an, deren wesentliche Einrichtung von Bessemer selbst später eingeführt wurde. Ihre wichtigste Eigenthümlichkeit besteht darin, dass sie mit zwei wagerechten Drehungszapfen aufgehängt sind und mit Hülfe einer Maschine um diese Zapfen gedreht werden können, um gefüllt und entleert zu werden. Man nennt diese Vorrichtung im Deutschen ihrer birnenähnlichen Form halber Birne (Bessemerbirne, Thomasbirne) oder auch, die englische Bezeichnung wählend, Converter.

Die Birnen für das saure und für das basische Verfahren besitzen im Wesentlichen die nämliche Einrichtung, sofern man von der abweichenden Beschaffenheit des Futters absieht; auf einige Unterschiede in den Abmessungen wird unten hingewiesen werden.

Die Abbildungen Fig. 276—278 zeigen die Einrichtung der Thomasbirne eines westfälischen Eisenwerkes. Sie besteht aus einem schmiedeeisernen Mantel mit feuerfestem (in diesem Falle basischem) Futter und ist in vier Theile zerlegbar, welche die Haube (*a*), das Mittelstück (*b*) und das Bodenstück (*c*) mit dem Boden (*d*) genannt werden. Mitunter werden Mittel- und Bodenstück in eins gefertigt, der Boden aber bildet bei allen neueren Birnen ein selbständiges Stück.

Die Haube läuft nach oben in einen verengten Hals aus, dessen Mündung eine solche Stellung haben muss, dass beim Kochen des Metalls möglichst wenig herausgeschleudert werden kann. Sie ist deshalb nicht in der Mitte, sondern seitlich angebracht; nur ausnahmsweise, z. B. bei einigen amerikanischen Birnen, liegt sie oben in der

1) Ueber die verschiedenen Wandlungen, welche anfänglich die Form des benutzten Behälters erlitt, berichtete H. Bessemer im Jahre 1886 dem Iron and Steel Institute. Der durch zahlreiche Abbildungen ergänzte Vortrag ist im Journal of the Iron and Steel Institute 1886, in deutscher Uebersetzung in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 789 veröffentlicht.

Fig. 276.

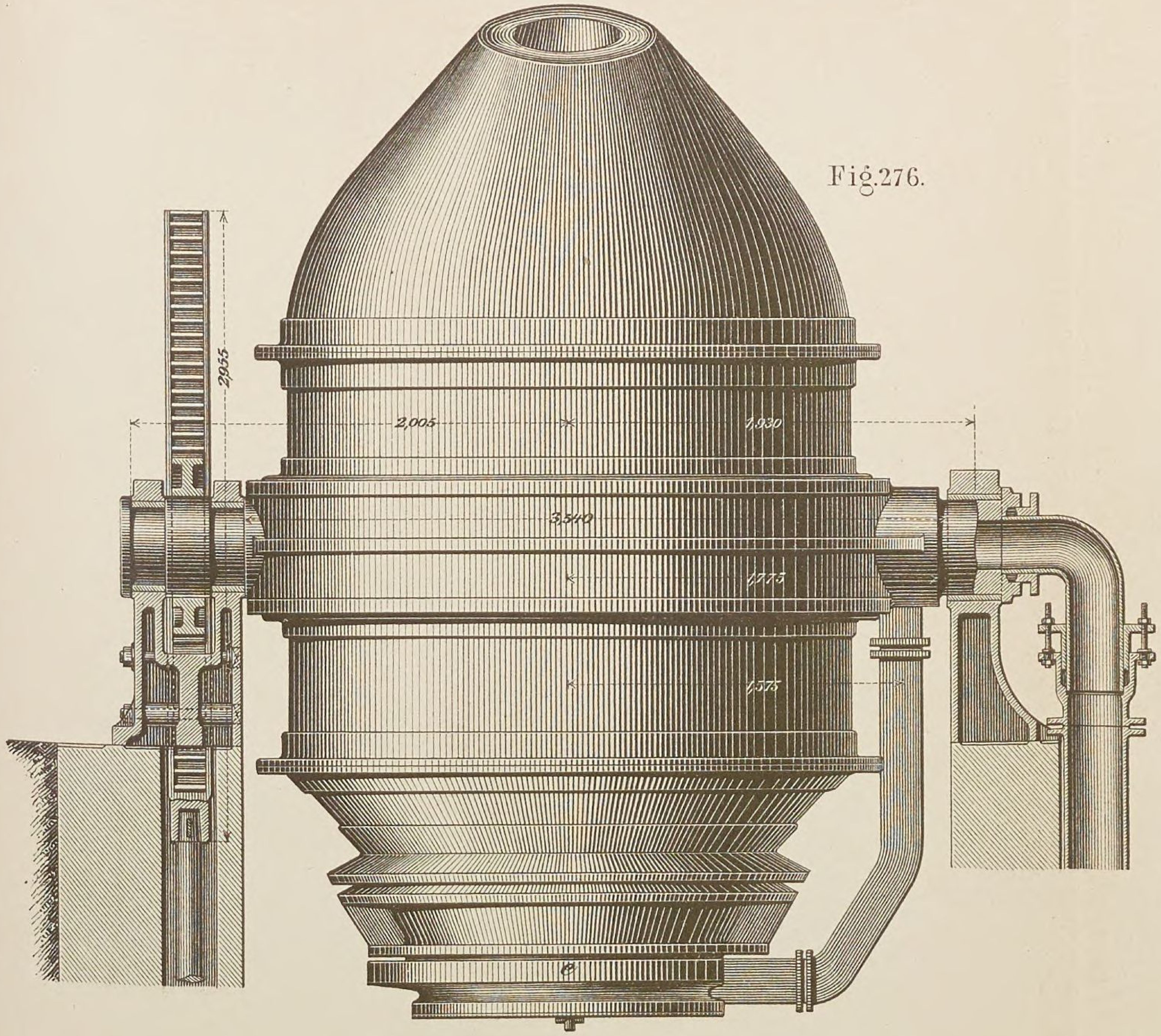
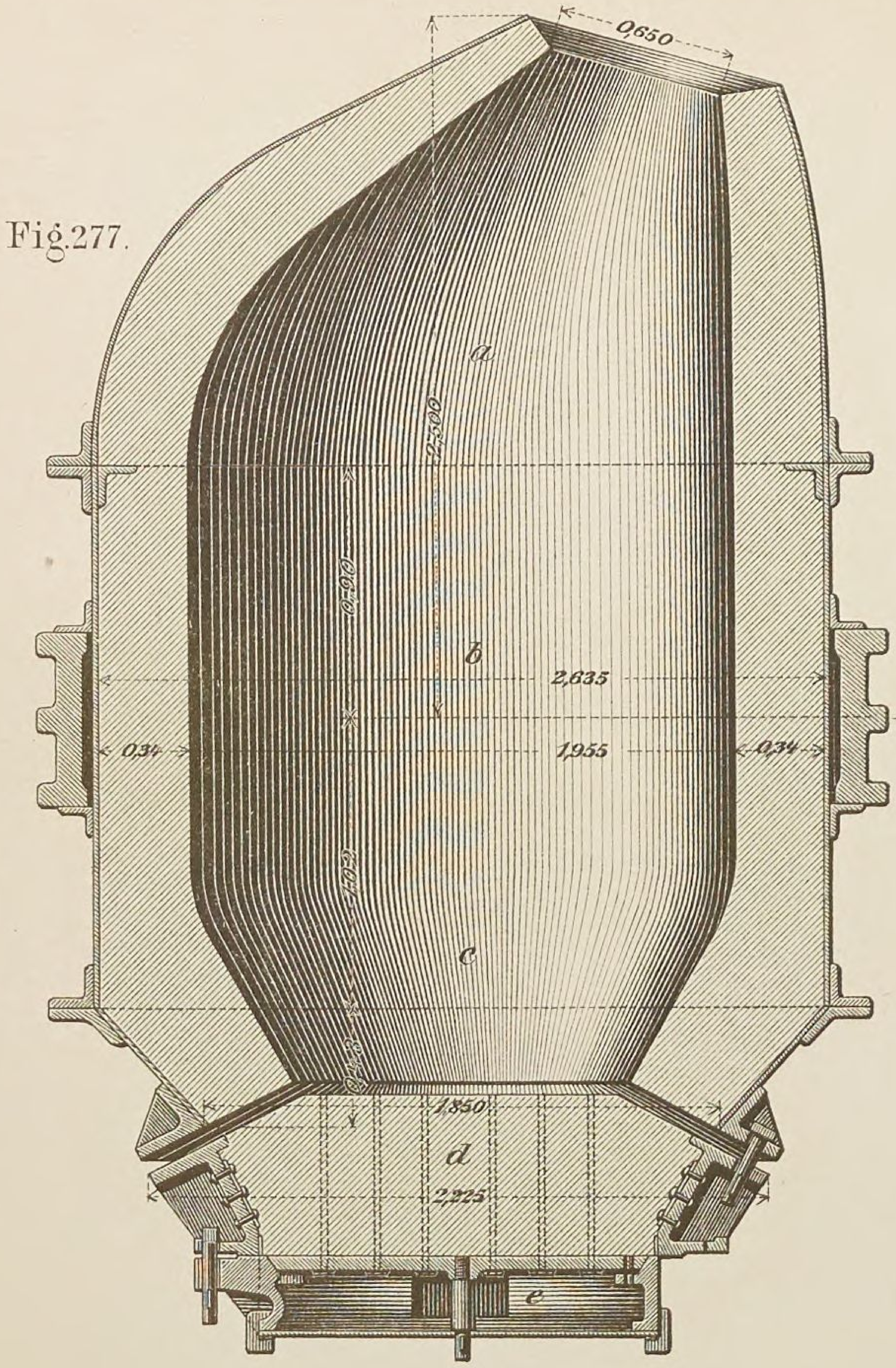


Fig. 277.



Thomasbirne.

1/40 der wirklichen Grösse.

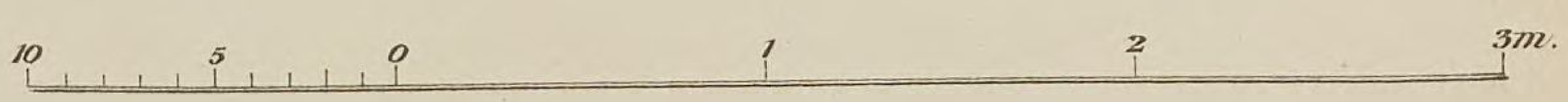
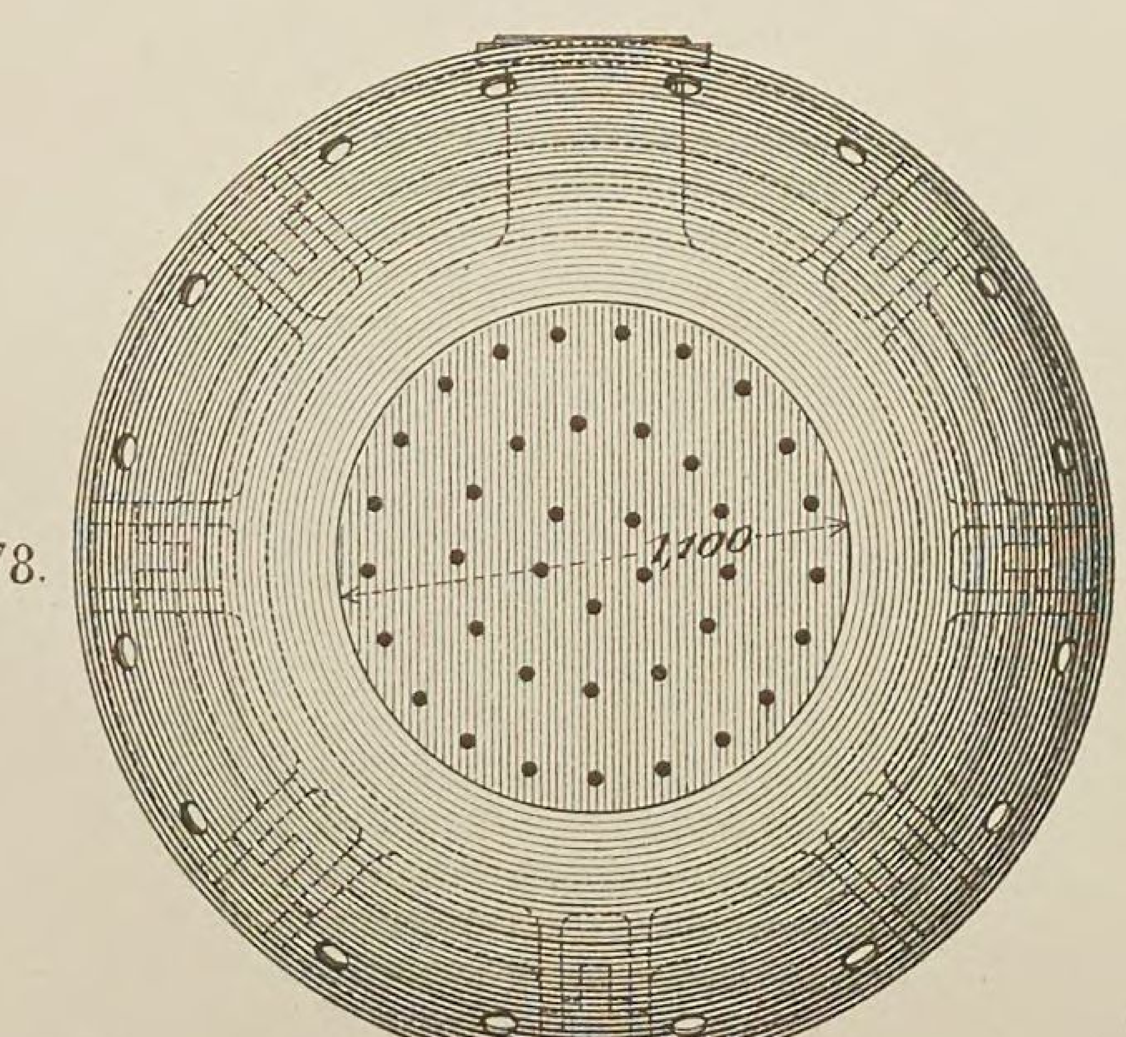


Fig. 278.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Mitte, so dass die Haube die Form eines abgestumpften Kegels erhält. In jedem Falle muss die Mündung eine solche Lage haben, dass man, wenn die Birne auf dem Rücken liegt [1]), ihre Achse also in wagerechter Stellung sich befindet, im Stande ist, durch die Mündung den Boden zu sehen, um etwaige Beschädigungen, Verstopfungen der Windeinströmungen u. s. w., wahrnehmen zu können.

An dem Mittelstücke ist ein kräftiger Ring befestigt, an welchem sich die beiden einander gegenüberstehenden, zum Tragen und Kippen der Birne dienenden Zapfen befinden. Der Ring ist gewöhnlich aus Gusseisen oder Stahl gegossen, bisweilen mit den Zapfen in einem einzigen Stücke. Beide Zapfen ruhen in gewöhnlichen, entsprechend stark gebauten Lagern. Auf dem einen Zapfen (dem linken Zapfen in Fig. 276) ist ein Getriebe befestigt, welches die Drehung beim Kippen und Wiederaufrichten der Birne vermittelt. Zur Ausführung dieser Bewegung dient fast immer ein durch Wasserdruck getriebener Kolben, welcher eine jenes Getriebe erfassende Zahnstange vor- oder rückwärts bewegt, je nachdem Druckwasser vor oder hinter den Kolben geleitet wird. Auch die abgebildete Birne wird in dieser Weise bewegt. Die Achse des in der Abbildung nicht erkennbaren Druckcylinders steht senkrecht, und die Zahnstange wird demnach ebenfalls senkrecht bewegt; statt des senkrechten findet man bisweilen, zumal bei älteren Anlagen, einen liegenden Cylinder mit wagerechter Bewegung der Zahnstange. Letztere Anordnung giebt, wenn die Zahnstange unter dem Rade mit nach oben gerichteten Zähnen angebracht ist, leichter Veranlassung zu Zahnbrüchen durch Eisen- oder Schlackentheile, welche beim Kochen des Metalls herausgeschleudert wurden und zwischen die Zähne geriethen.

Von dem zweiten Zapfen aus wird der Gebläsewind nach dem, unter dem Boden der Birne befindlichen Windkasten *e* geleitet. Zu diesem Zwecke ist der Zapfen hohl und durch eine Stopfbüchse mit dem Windzuleitungsrohre verbunden, so dass die Drehung der Birne vor sich gehen kann, ohne dass die Windzuströmung unterbrochen zu werden braucht. Fig. 276 lässt diese Einrichtung erkennen. Zur Verbindung des Zapfens mit dem Windkasten dient das in Fig. 276 erkennbare gusseiserne Rohr.

Der Windkasten besteht meistens aus Gusseisen und ist durch Bolzen mit Splinten am Mantel der Birne befestigt. Unten ist er durch eine Platte aus Gusseisen oder starkem Blech geschlossen, welche zwar zur Vermeidung von Windverlusten sich dicht an den Bord des Windkastens anlegen, aber auch sich leicht entfernen lassen muss, damit man im Stande sei, von hier aus zu den im Boden angebrachten Windöffnungen zu gelangen, um sie, wenn erforderlich, von erstarrten Massen zu reinigen oder auszubessern. Die Befestigung der Platte lässt sich durch Klammern mit Keilen (Fig. 277) oder durch Bolzen mit Splinten (vergleiche unten Fig. 279, 280) bewirken.

So lange die mit flüssigem Metall gefüllte Birne aufrecht steht, muss der Druck des durch die Oeffnungen des Bodens aufsteigenden

1) Den Rücken der Birne nennt man die der Halsmündung gegenüberliegende bei Fig. 277 also die links befindliche Seite.

Windes das Eintreten des Metalls in diese Oeffnungen verhindern; ist die Birne aber auf den Rücken gelegt, muss für das Metall ein ausreichender Raum bleiben, dass die Oeffnungen sich frei oberhalb seines Spiegels befinden und man demnach den Wind abstellen kann, ohne dass das Metall in die Windöffnungen gelangt. Der Durchmesser des Kreises, innerhalb dessen die Windöffnungen angeordnet sind, muss demnach kleiner sein, als der innere Durchmesser des Mittelstückes. Nicht selten giebt man deshalb dem Boden selbst einen kleineren Durchmesser als dem Mittelstücke, und infolge hiervon erhält dann der untere Theil der Birne, wie in der Abbildung, trichterartige Form. Nothwendig ist jedoch dieser allmähliche Uebergang nicht; bei der unten (Fig. 279, 282) abgebildeten Birne steht das Mittelstück fast oder ganz unvermittelt auf der Ebene des Bodens.

Da der Boden in stärkerem Maasse als das übrige Futter der Birne der Zerstörung preisgegeben ist, pflegt er, wie schon erwähnt, für sich allein gefertigt und zum Auswechseln eingerichtet zu sein. Die Befestigung des Bodens an der Birne muss in solcher Weise bewirkt werden, dass das Auswechseln und die Verdichtung der Fuge zwischen dem Boden und dem Birnenfutter in möglichst kurzer Zeit sich bewerkstelligen lässt. Die Aufgabe lässt in verschiedener Weise sich erfüllen.

Bei der oben (Fig. 277) abgebildeten Birne hat die Fuge flach kegelförmige Gestalt. Bevor der einzusetzende Boden unter die Birne gebracht wird, bringt man auf die Anschlussfläche eine Lage weicher Masse von dem Material, aus welchem das Birnenfutter besteht (sauer oder basisch), und alsdann fährt man ihn auf einem Wagen unter die aufrecht stehende Birne, deren schadhaft gewordener Boden inzwischen bereits entfernt wurde. Mit Hülfe einer Winde oder, besser noch, des Kolbens eines unterhalb der Birne in einer Vertiefung des Bodens stehenden Wasserdruckcylinders hebt man nun den Boden empor, bis er genau sich an das Birnenfutter anschliesst, steckt die Bolzen ein, welche ihn am Mantel festhalten, und bewirkt durch Anziehen der durch die Bolzen hindurchgehenden Keile überall dichten Anschluss.

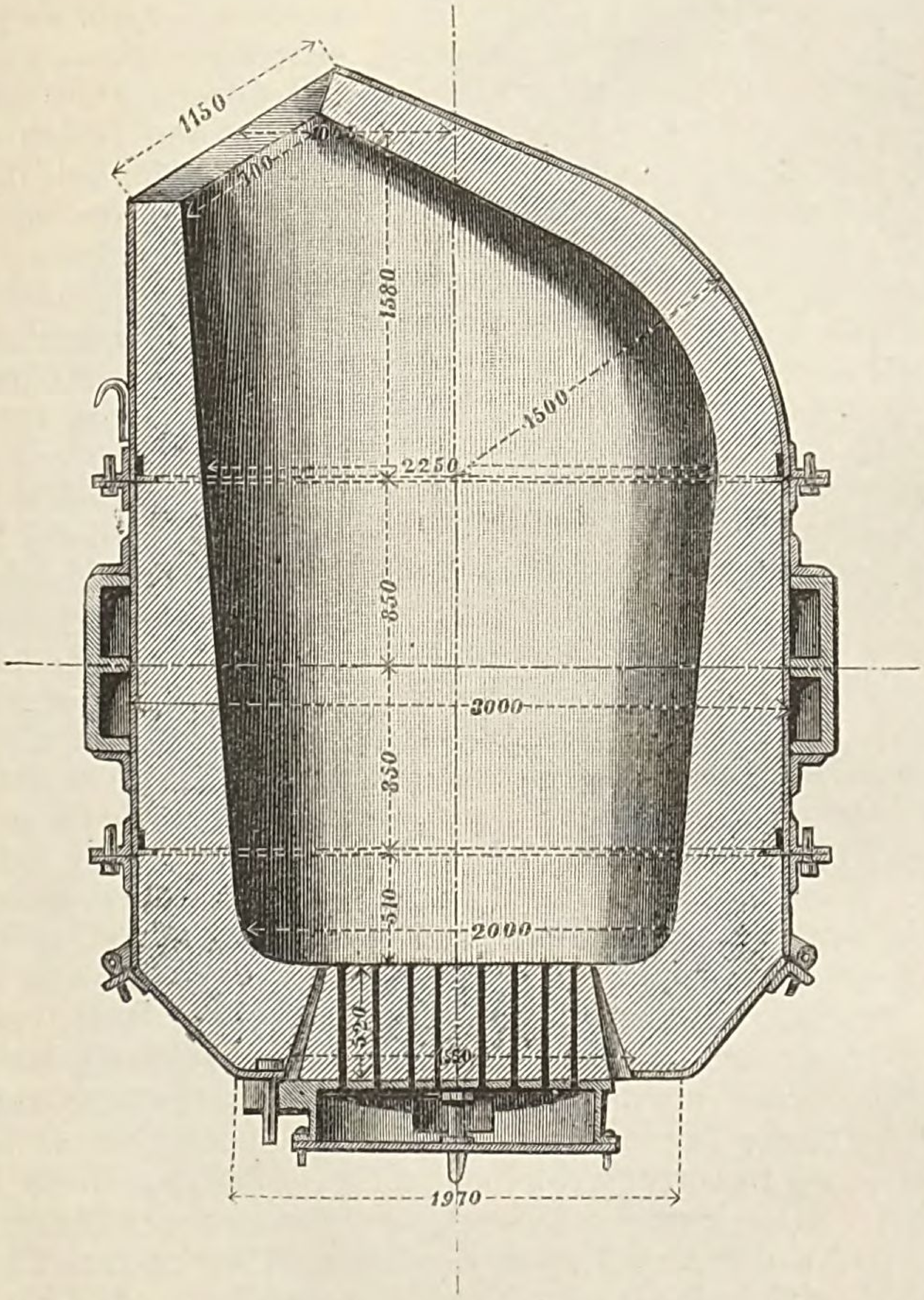
In der nämlichen Weise wird die Befestigung des flachen Bodens der unten in Fig. 282 abgebildeten amerikanischen Birne bewirkt.

Bei der Birne Fig. 279 dagegen (Thomasbirne eines norddeutschen Werkes) hat der Boden eine steile Begrenzungsfläche. Die Oeffnung im Futter der Birne umschliesst oben ziemlich eng den Boden, so dass er eben hineinpasst, ohne das Futter zu beschädigen; nach unten zu erweitert sie sich, so dass ein keilförmiger Spalt entsteht, welcher nach aussen mündet. Nur an den Stellen, wo die zur Befestigung des Windkastens am Birnenmantel dienenden Bolzen sich befinden (in Fig. 279 links), treten die Laschen des Windkastens über den Spalt hinüber. Der Boden wird, ohne zuvor mit einer Lage Masse bedeckt zu sein, von unten her, wie bei dem zuvor beschriebenen Verfahren, eingesetzt, worauf man die Keile in die Verbindungsbolzen einsteckt und festzieht. Nunmehr wird die Birne auf den Kopf gestellt (um 180 Grad gedreht), so dass die Fuge oben liegt, und alsdann wird sie von aussen her mit eingestampfter Masse geschlossen.

Bei den beiden soeben beschriebenen Birnen (Fig. 277 und 279)

muss auch der ganze Windkasten losgenommen werden, wenn der Boden ausgewechselt werden soll. Die Arbeit wird etwas vereinfacht, wenn man die Platte, welche den Boden trägt, vom Windkasten trennt und die Durchmesser beider Theile so bemisst, dass jene Platte nebst dem Boden durch den Windkasten hindurchgezogen werden kann, nachdem der untere Deckel des Windkastens entfernt wurde. Fig. 280, die Thomasbirne eines westdeutschen Werkes darstellend, zeigt diese Ein-

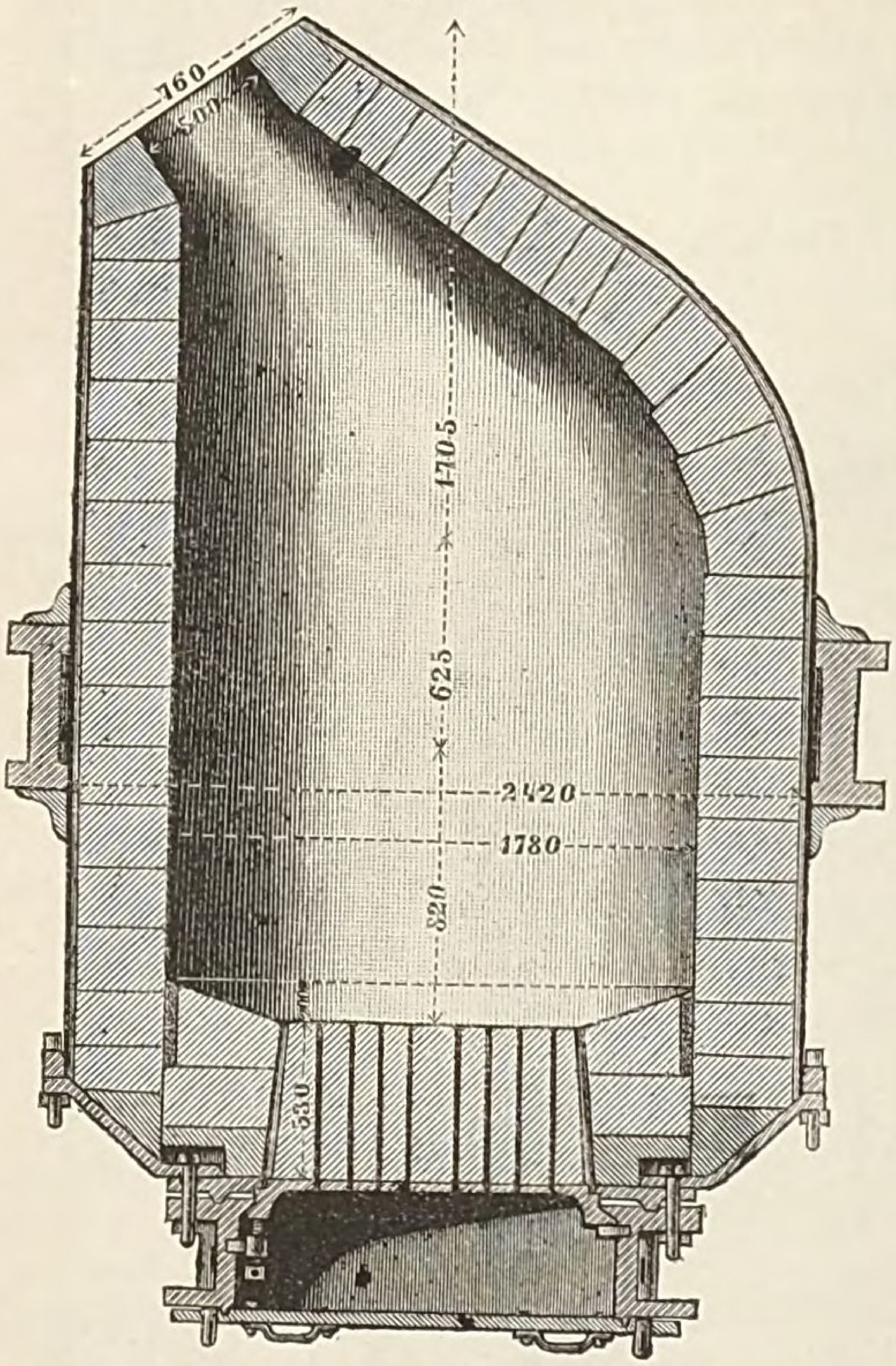
Fig. 279.



richtung. Die Bodenplatte legt sich mit bearbeiteten Flächen dicht an entsprechende Flächen des Windkastens und des Birnenmantels und wird in dieser Stellung theils durch Keile, theils durch Schrauben festgehalten, deren Muttern abnehmbar in der Wand des Windkastens befestigt sind. Der Boden hat, wie der Boden in Fig. 279, äusserlich schlank-kegelförmige Gestalt. Da aber die Fuge zwischen dem Boden und dem Birnenfutter von aussen nicht mehr zugänglich ist, nachdem der Boden eingesetzt wurde, macht man sie auch oben weiter als in

jenem Falle (50 bis 60 mm) und bewirkt die Verdichtung von innen, indem man das Verdichtungsmaterial (basische oder saure Masse) durch den Hals der Birne einschüttet. Den Boden pflegt man vor dem Einsetzen mit etwas breiartig zubereiteter Masse zu umkleiden.

Fig. 280.



Für die Vertheilung der Windeinströmungsöffnungen im Boden giebt es zwei verschiedene Anordnungen. Bei der älteren Anordnung werden in den Boden eine Anzahl (gewöhnlich 13 bis 21) selbständig aus feuerfestem Thon gefertigter Formen (auch Feren oder Ferne genannt) eingesetzt, deren jede wieder mehrere (gewöhnlich 7 bis 12) Durchgangsöffnungen enthält. Fig. 281 zeigt eine solche in dem Boden befindliche Form im Aufriss und Grundriss. Auch in der unten folgenden Abbildung Fig. 282 sind die eingesetzten Formen erkennbar. Sie werden im Kreise vertheilt, eine befindet sich in der Mitte. Die Form Fig. 281 st schon bei der Anfertigung des Bodens eingesetzt, wird von der Bodenplatte festgehalten und lässt sich nicht auswechseln; häufiger macht man sie am unteren Ende etwas stärker als oben, so dass sie erst in den bereits fertigen Boden eingesetzt werden und sich nach Bedarf auswechseln lassen. Ein Riegel an der Bodenplatte oder irgend eine andere einfache Vorrichtung hält sie am Boden fest, so lange sie in Benutzung bleiben sollen. Bei der Birne Fig. 282 dient je eine ringförmige Schraube, deren Muttergewinde in der zum Tragen des Bodens bestimmten Eisenplatte sich befindet, zum Festhalten der Feren. Die Einrichtung gewährt den Vortheil, dass man auf die Herstellung der Feren besondere Sorgfalt verwenden und, indem man sie auswechselt, nachdem sie schadhaft geworden sind, den Boden selbst längere Zeit brauchbar erhalten kann.

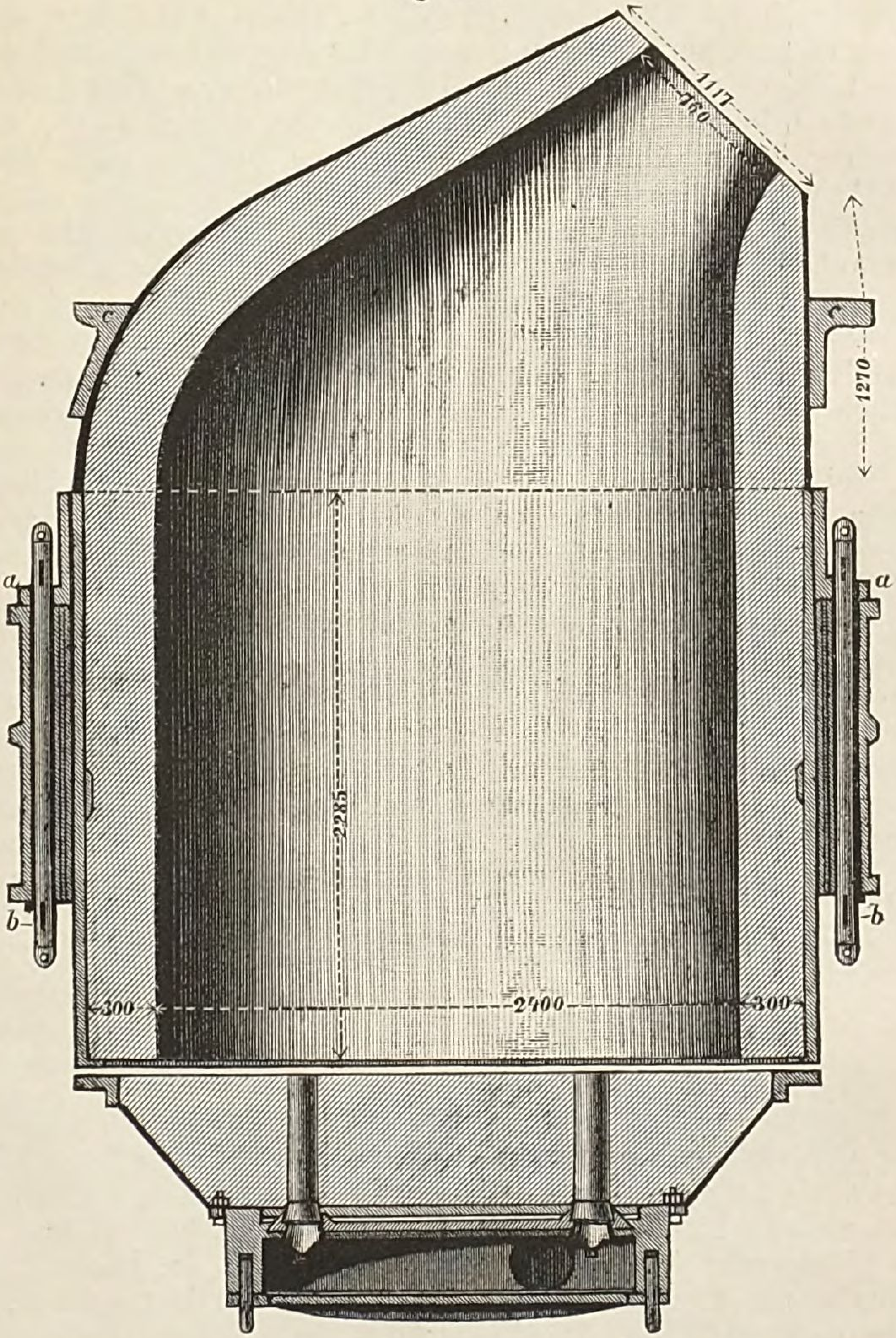
Fig. 281.



Bei der zweiten Anordnung sind die Windöffnungen in drei oder vier Kreisen vertheilt (Fig. 278) und werden in dem Boden selbst bei dessen Herstellung ausgespart. Man erzielt hierdurch eine gleichmässigere Vertheilung der eintretenden Windstrahlen als bei der

zuerst beschriebenen Anordnung, wo eine grössere Zahl Strahlen büschelartig dicht neben einander aufsteigen; die Aufgabe des Windes wird hierdurch erleichtert. Die zuletzt beschriebene Anordnung kommt bei fast allen Thomasbirnen in Anwendung; bei Bessemerbirnen findet man nicht minder häufig auch die ältere Einrichtung mit besonderen Feren.

Fig. 282.



Soll nicht nur der Boden, sondern die ganze Birne ausgewechselt werden, so lässt sich bei den Birnen von der bisher besprochenen Einrichtung, welche in dem Ringe festsitzen, diese Arbeit nur ausführen, indem man die Lagerdekel der Birnenzapfen und die Stopfbüchse, welche den Windzapfen mit der Leitung verbindet, löst, um dann mit

einem entsprechend starken Krahne die Birne emporzuheben und fortzuführen. Bei dem bedeutenden Gewicht einer Birne, welches bei mittleren Abmessungen 30 bis 40 t, mitunter noch erheblich darüber beträgt, ist diese Arbeit ziemlich umständlich. Man beschränkt sich daher vielfach darauf, wenn die Birne neu ausgefuttert werden muss, die Haube abzunehmen, und setzt das Futter für das Mittelstück an Ort und Stelle ein, ohne die Zapfen lösen zu müssen. Immerhin kann hierdurch ein Zeitverlust entstehen, zumal wenn man nur zwei Birnen im Ganzen zur Verfügung hat. Das Auswechseln wird dagegen erleichtert, wenn man die Birne nicht fest mit dem Ringe verbindet, sondern so einrichtet, dass sie herausgenommen werden kann, während der schwere Ring in seinen Lagern liegen bleibt. Eine derartige, von Holley auf mehreren amerikanischen Eisenwerken eingeführte Einrichtung ist in Fig. 282 abgebildet.[1]) Die Birne ruht hier mit den angeschraubten Winkeln *a a* auf dem Ringe, so lange sie aufrecht steht; wird sie auf den Kopf gestellt, d. h. um 180^0 gedreht, so wird sie durch Splinte *b b* im Ringe festgehalten. Entfernt man aber, während die Birne in letzterer Stellung sich befindet, die Splinte *b b*, so geht die Birne nach unten aus dem Ringe heraus. Zwischen dem Birnenmantel und der Innenfläche des Ringes ist ein Zwischenraum von ungefähr 20 mm Breite gelassen, so dass dieses Herausnehmen ohne Hinderniss stattfinden kann; ausserdem beabsichtigt man durch diese Einrichtung der Birne Gelegenheit zur freien Ausdehnung beim Erhitzen zu geben. Damit sie trotzdem, auch wenn sie in wagerechter Lage sich befindet, ihre Stellung im Ringe nicht ändere, wird sie durch mehrere Stellschrauben festgehalten, welche durch den Ring hindurchgehen und gelöst werden können, wenn die Birne sich ausdehnt. Soll Auswechslung der Birne stattfinden, so wird die Birne auf den Kopf gestellt, ein eiserner Wagen, welcher mit Lagern zur Aufnahme der Birne versehen ist, wird darunter gefahren und durch den Kolben des unter der Birne befindlichen Wasserdruckcylinders soweit emporgehoben, bis die Birne mit dem Ringe *c c* darauf ruht. Nun löst man die Splinte *b b*, senkt den Wagen sammt der Birne und fährt ihn davon. Das Einsetzen der Birne erfolgt mit Hülfe der nämlichen Vorrichtung.

Birnen für die Kleinbessemerei.

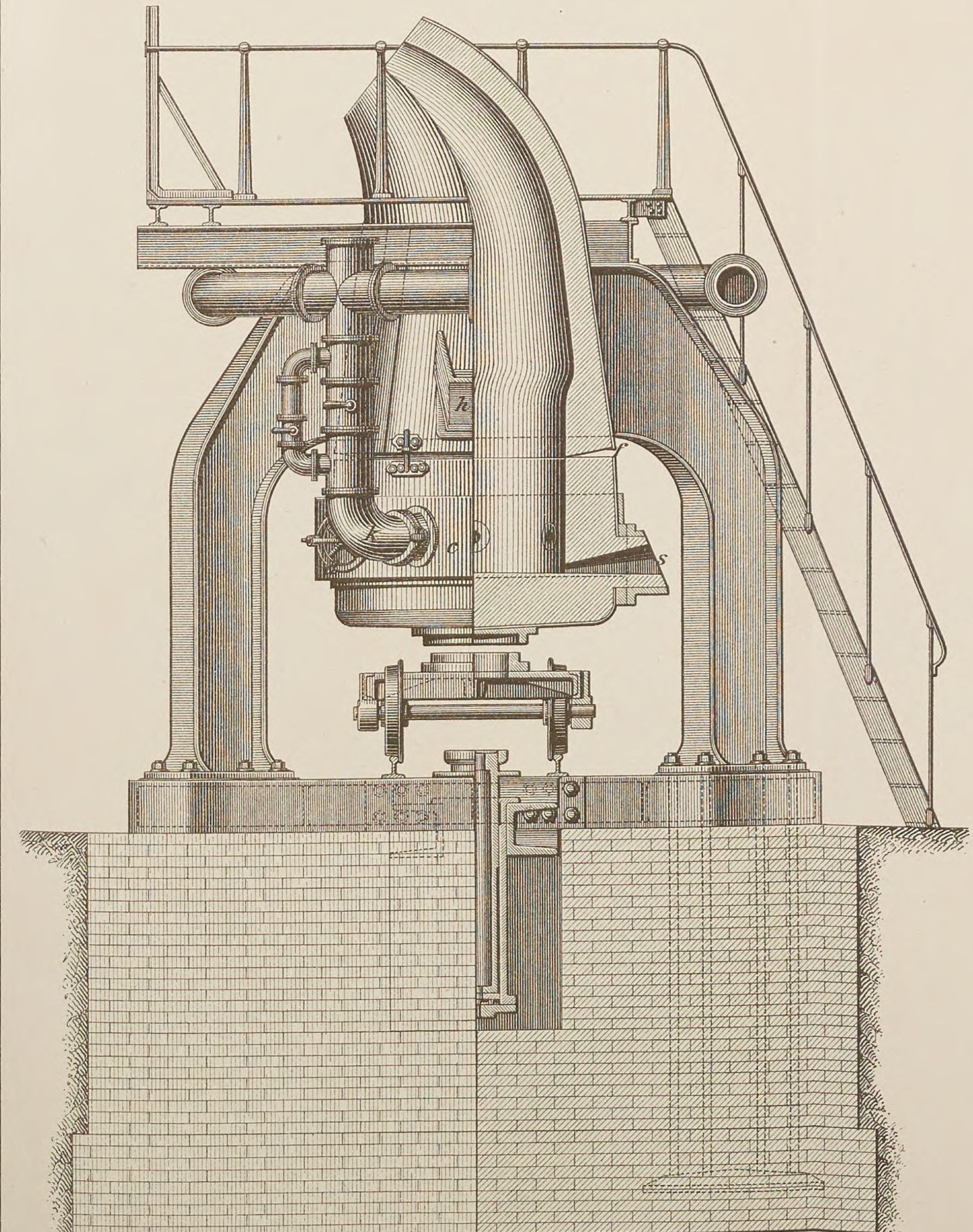
Wie schon erwähnt worden ist, können besondere Verhältnisse mitunter Veranlassung geben, die Birnen für die Verarbeitung kleinerer Einsätze als 5 t einzurichten. Die ersten erfolgreichen Versuche, Einsätze von selbst weniger als 1 t zu verarbeiten, wurden auf dem schwedischen Eisenwerke Avesta ausgeführt; später hat die Kleinbessemerei vorzugsweise in Amerika Eingang gefunden. In Deutschland ist sie sehr vereinzelt geblieben. Die Kosten des Erzeugnisses wachsen, wenn die Menge der Erzeugung niedriger wird; wenn aber mitunter die Behauptung aufgestellt worden ist, dass es in kleinen Birnen leichter als in grossen möglich sei, ein kohlenstoffarmes, geschmeidiges, das

1) Nach Howe, Metallurgy of Steel, vol. I, p. 346.

Clapp-Griffiths Birne.

1/40 der wirklichen Grösse.

Fig. 283.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Schweisseisen vortheilhaft ersetzendes Erzeugniss zu gewinnen[1]), so fehlt hierfür die Begründung. Zumal in basischen Birnen erzeugt man in Deutschland auch bei Einsätzen von 10 t Flusseisen, dessen Zähigkeit und Geschmeidigkeit nichts zu wünschen übrig lässt. In verkehrsarmen Gegenden, wo der Absatz für grosse Eisenmengen fehlt, kann die Kleinbessemerei ihre Berechtigung haben; ebenso in solchen Fällen, wo man Flusseisen von ganz bestimmter Beschaffenheit für einen Sonderzweig, z. B. für Nägeldarstellung, erzeugen will, welcher seiner Eigenthümlichkeit gemäss die Verarbeitung sehr grosser Eisenmengen nicht ermöglicht. Die Anlagekosten werden niedriger, die Erzeugung des weniger stark gepressten Windes wird billiger, die vorhandenen Arbeitskräfte werden günstiger ausgenutzt, wenn mit kürzeren Pausen kleinere Einsätze verarbeitet werden, als wenn man dieselbe Gesammtmenge Roheisen im Laufe des Tages in wenigeren grösseren Einsätzen verarbeiten wollte. Mit Vortheil hat man auf einigen Werken Frankreichs und Italien auch für die Darstellung von Formguss die Kleinbessemerei in Anwendung gebracht, wenn der Umfang des Betriebes nicht so erheblich war, um die Erzeugung grösserer Flusseisenmengen zu rechtfertigen.[2])

Die Birnen für die Kleinbessemerei sind meistens für das saure Verfahren bestimmt. Häufig aber hat man ihnen eine Einrichtung gegeben, welche nicht unerheblich von der bisher besprochenen Einrichtung abweicht. Zu den eigenthümlichsten und am meisten besprochenen dieser Birnen gehört die von Clapp und Griffiths zuerst auf einigen Werken Grossbritanniens, dann während der Jahre 1884 bis 1887 vorzugsweise in Nordamerika erbaute, welche in Fig. 283 dargestellt ist.[3]) Sie ist, wie die ursprünglichen Birnen Bessemers, feststehend und mit Stichloch *s* versehen; aber ihr Boden ist, wie bei den meisten neueren Birnen, zum Abnehmen eingerichtet. Bei *f* ist die Fuge zwischen dem beweglichen Boden und dem zwischen vier eisernen Ständern befestigten Obertheile erkennbar. Rings um den Boden herum, mit Ausnahme der Stelle, wo das Stichloch sich befindet, läuft der Windkanal, welcher durch das leicht abnehmbare Rohr *k* den Wind empfängt und ihn durch etwa sechs Düsen in das Innere treten lässt. Jede Düse ist durch ein Ventil verschliessbar, welches durch das Handrad *d* bewegt wird. *h* ist die Oeffnung zum Eingiessen des Roheisens. Unterhalb des Bodens ist der Wagen abgebildet, welcher bei dessen Auswechselung benutzt wird, und unter diesem gewahrt man im Boden den Wasserdruckcylinder, dessen Kolben das Heben und Andrücken des Bodens zu vollführen hat. Die Clapp-Griffiths-Birnen sind gewöhnlich für 1,5 bis 3 t Einsatz berechnet; in den oben genannten Jahren wurden etwa 15 solcher Birnen in den Vereinigten Staaten errichtet.

Auf europäischen, insbesondere französischen Werken bedient man

1) Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1885, Seite 117; „Stahl und Eisen" 1885, Seite 441.

2) Revue universelle des mines, série 3, tome XIII, p. 146; daraus in „Stahl und Eisen" 1891, Seite 455.

3) Nach dem Engineering and Mining Journal in „Stahl und Eisen" 1886, Blatt IX.

sich mehrfach einer von Robert eingeführten Birne für die Kleinbessemerei. Sie ist, wie die Birnen für die Grossbessemerei, zum Kippen eingerichtet und im Aeusseren diesen ähnlich, unterscheidet sich aber von ihnen dadurch, dass der Wind nicht von unten, sondern, wie bei den Clapp-Griffiths-Birnen, von der Seite her in das Metall tritt. Man gewinnt hierdurch die Möglichkeit, mit geringerer Windpressung zu arbeiten, wenn auch anzunehmen ist, dass die Ausnutzung des eingeführten Windes weniger vollständig als bei jenen sein wird. Die Düsen befinden sich nur an der vorderen Seite der Birne; durch entsprechende Schrägstellung der letzteren kann man demnach den Wind tiefer oder weniger tief unter der Oberfläche des Metalls einführen. Durch eine gegen die Achse der Birne schräge Richtung der Düsen beabsichtigt man, dem Metalle eine kreisende Bewegung zu ertheilen, wodurch die Einwirkung des Windes befördert werden soll. [1])

Hinsichtlich sonstiger für die Kleinbessemerei zur Anwendung gebrachter Einrichtungen, von denen keine eine hervorragende Bedeutung erlangt hat, möge auf die gegebene Literatur verwiesen werden. [2])

Rauminhalt und Abmessungen der Birnen.

Während des Blasens und der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd findet ein heftiges Kochen des flüssigen Metalls statt. Damit nicht beträchtliche Metallverluste entstehen, muss der Rauminhalt der Birne beträchtlich grösser sein als der Raum, welchen das flüssige Metall einnimmt.

Da beim basischen Verfahren eine reichlichere Schlackenmenge als beim sauren Verfahren entsteht, ist es zweckmässig, den Birnen für das erstere Verfahren bei gleichem Einsatze einen entsprechend grösseren Rauminhalt zu geben. Vergleicht man jedoch bei den in Benutzung befindlichen Birnen das Verhältniss zwischen Rauminhalt und Einsatzgewicht, so findet man sehr beträchtliche Abweichungen. Manche Birnen für das basische Verfahren besitzen in Wirklichkeit einen geringeren Rauminhalt als andere für das saure Verfahren bei gleich grossen Einsätzen. Nicht selten hat man die Birne ursprünglich für weniger grosse Einsätze bestimmt, später aber sie auch für grössere Einsätze benutzt, nachdem man den Querschnitt der Windeinströmungsöffnungen entsprechend erweitert hatte. So erklärt sich der Widerspruch, dass, während bei manchen basischen Birnen der Rauminhalt für je 1 t Einsatz kaum 1 cbm beträgt, man bei sauren Birnen mitunter den anderthalbfachen Rauminhalt, bei amerikanischen Birnen sogar bis 1,8 cbm antrifft. [3]) Die Birne Fig. 277 hat etwa 8 cbm Inhalt und wird für Einsätze bis zu 10 t benutzt; die ebenfalls für Einsätze von 10 t bestimmte Birne Fig. 279 hat etwa 11 cbm Inhalt; die Birne Fig. 280 mit etwas über 7 cbm Inhalt dient für Einsätze von 7 t Gewicht. Die für das saure Verfahren und Einsätzen von 10 t

1) Abbildung der Robert-Birne und nähere Mittheilungen über ihren Betrieb in der auf Seite 901 in der Fussanmerkung 2) genannten Abhandlung.

2) Insbesondere auf die Abhandlung Vogels in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1892, Seite 406.

3) Nach Howe. Vergleiche „Stahl und Eisen" 1890, Seite 1036.

bestimmte Birne Fig. 282 dagegen besitzt einen Rauminhalt von 13 cbm. Je rascher das Blasen von statten geht, je heftiger demnach das eintretende Aufkochen ist, desto grösser muss offenbar jenes Verhältniss zwischen Rauminhalt und Einsatz sein, wenn man Metallverluste vermeiden will. Jene grossen amerikanischen Birnen sind meistens für sehr rasches Blasen bestimmt.

Ein Rauminhalt von 1 cbm bei sauren, von 1,3 cbm bei basischen Birnen für je 1 t Einsatz ist indess auch bei weniger raschem Blasen nicht zu reichlich bemessen. Da 1 t flüssiges Eisen etwa 0,14 cbm Raum einnimmt, erhält bei Innehaltung jenes Verhältnisses die saure Birne etwa den achtfachen Rauminhalt, die basische Birne den neun- bis zehnfachen Rauminhalt als das eingeschlossene Metall.

Von Wichtigkeit ist ferner die Höhe, welche das flüssige Metall innerhalb der Birne einnimmt, und welche von dem Durchmesser der Birne bei gegebenem Einsatzgewichte abhängt. Mit dieser Höhe wächst die erforderliche Spannung des Gebläsewindes, welcher den Druck des flüssigen Metalls zu überwinden hat, und mit der Windspannung steigt die erforderliche Arbeitsleistung des Gebläses. Ist die Höhe aber zu gering, so geht unverbrauchter Sauerstoff durch das Metall hindurch, wie die Gasanalysen nachweisen, und die Arbeit des Gebläses wird ungünstig ausgenutzt. Je höher die Temperater in der Birne ist, desto stärker ist das Vereinigungsbestreben des Sauerstoffs zu den Bestandtheilen des Eisenbades, desto weniger leicht geht auch bei geringer Höhe des flüssigen Eisens unverbrauchter Sauerstoff hindurch. Auf europäischen Werken findet man selten eine geringere Höhe als 500 mm, häufiger ist die Höhe noch etwas beträchtlicher; bei nordamerikanischen Birnen begnügt man sich meistens mit einer Höhe von 320 bis 400 mm.[1]) Man ermöglicht dadurch bei derselben Arbeit des Gebläses die Zuführung reichlicherer Windmengen in bestimmter Zeit und, sofern der Wind voll ausgenutzt wird, ein rascheres Frischen.

Die Stärke des feuerfesten Futters ist im Boden, welcher am raschesten abgenutzt wird, am bedeutendsten; überdies bei Birnen für das basische Verfahren gewöhnlich grösser als bei solchen für das saure Verfahren. Dem letzteren Boden pflegt man 0,4—0,5 m Höhe zu geben, dem basischen 0,55—0,65 m. Im Mittelstücke dagegen giebt man dem Futter Wandstärken von 0,2—0,3 m, wenn es für das saure Verfahren bestimmt ist, 0,35—0,45 m für das basische Verfahren. Nach der Mündung kann das Futter allmählich schwächer werden.

Die Halsmündung ist gewöhnlich 0,55—0,80 m im Lichten weit; ein allzu geringer Durchmesser kann besonders beim basischen Verfahren leicht eine Verstopfung durch emporgeworfene Schlacken zur Folge haben. Die Höhe der Haube pflegt 1,5—1,6 m zu betragen.

Diesen Verhältnissen entsprechend beträgt:

bei Birnen von 5—6 t Inhalt der innere Durchmesser des Mittelstückes 1,6—2 m, der äussere Durchmesser 2,2—2,6 m, der Durchmesser des Kreises, innerhalb dessen sich die Windöffnungen befinden (des Düsenkreises), 0,9—1,2 m, die Höhe von der Oberkante des Windkastens an gemessen etwa 4 m;

1) Nach Howe. „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1025.

bei Birnen von 8 t Inhalt der innere Durchmesser 2,0—2,2 m, äusserer Durchmesser 2,4—2,8 m, Düsenkreisdurchmesser etwa 1,2 m, Höhe 4,5 m;

bei Birnen von 10—12 t Inhalt der innere Durchmesser 2,5—2,7 m, äusserer Durchmesser 3,4—3,6 m, Düsenkreisdurchmesser 1,3—1,5 m, Höhe 5 m.[1])

Von dem Querschnitte der Windöffnungen (Düsen) hängt die Zeitdauer des Frischens ab. Auf je 1 t des Einsatzes bezogen, beträgt dieser Querschnitt 15—30 qcm, bei schwedischen, für sehr raschen Gang bestimmten Birnen sogar bis 50 qcm.[2]) Der Durchmesser der einzelnen Düsen pflegt 10—20 mm zu betragen, ihre Zahl schwankt zwischen 50—200. Je grösser die Zahl und je kleiner der Durchmesser der Düsen ist, desto besser ist die Windvertheilung; aber die für den Wind entstehenden Reibungsverluste wachsen, wenn der Durchmesser der Düsen abnimmt. Im Allgemeinen pflegt man die Zahl der Düsen grösser und ihren Durchmesser kleiner zu wählen, wenn sie in besonders gefertigten Feren (Fig. 281) angebracht, als wenn sie gleichmässig im Boden vertheilt sind.

Herstellung und Dauer des Futters.

Für die Herstellung des sauren Futters pflegt Sandstein oder Quarz benutzt zu werden, welcher gemahlen und mit nur ebensoviel feuerfestem Thon vermengt wird, als erforderlich ist, ihm im angefeuchteten Zustande Bildsamkeit zu verleihen. Ganister (Seite 162) wird auf europäischen Werken mit Vorliebe für diesen Zweck benutzt.

Für die Herstellung des basischen Futters verwendet man fast stets gebrannten Dolomit, welcher in der auf Seite 166 und 167 beschriebenen Weise zubereitet und, um bildsam zu werden, mit Theer vermischt wird.

Das Birnenfutter sowohl als der Boden werden entweder durch Mauerung aus vorher geformten Ziegeln oder durch Aufstampfen aus Masse hergestellt. Letzteres Verfahren ist sowohl bei saurem als basischem Futter üblicher; insbesondere werden die Böden fast immer gestampft.

Als Beispiel einer mit gemauertem Futter und gestampftem Boden versehenen Birne kann die oben in Fig. 280 abgebildete dienen.

Beim Mauern des Futters gelten dieselben Regeln als bei Herstellung feuerfesten Mauerwerkes überhaupt (Seite 171). Mauert man mit basischen Ziegeln, so schaltet man zwischen den schon gebrannten Ziegeln wohl rohe Ziegeln ein. Beim Erwärmen erweichen sie, fritten mit den Nachbarziegeln zusammen und bewirken solcherart einen innigen Verband.

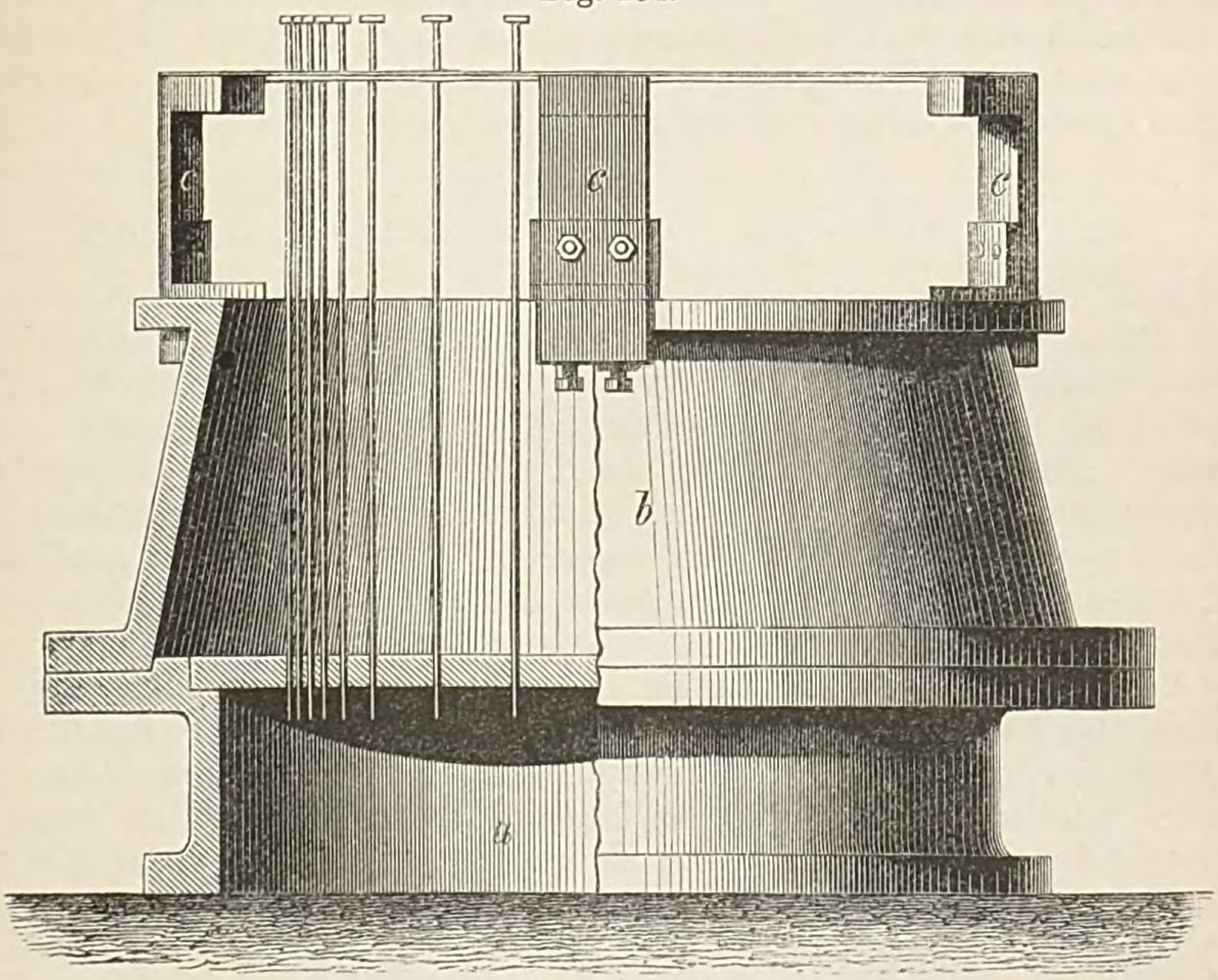
Stampft man das Futter, so bedient man sich eines aus Holz gefertigten, mit Eisenblech beschlagenen Modells, welches die Abmessungen des inneren Birnenraumes besitzt und in den Mantel eingesetzt wird;

1) Schwedische Birnen für 3 bis 3,5 t Einsatz haben nach Åkerman („Stahl und Eisen“ 1893, Seite 920) einen äusseren Durchmesser von 1,5 bis 1,6 m, eine Höhe von 2 bis 2,5 m und eine Halsweite von nur 0,2 bis 0,3 m.

2) R. Åkerman, a. a. O.

in den Zwischenraum zwischen Modell und Mantel wird die Masse in einzelnen Lagen nach und nach eingeschüttet und festgestampft. Die Haube der Birne wird für sich, ebenfalls unter Benutzung eines Modells, ausgefuttert und später aufgesetzt. Für die Herstellung des Bodens dient ein Gusseisenkranz als Modell, welcher auf die Bodenplatte gestellt und dann innen mit Masse vollgestampft wird. Will man in den Boden später besondere Feren einsetzen, so pflegt man beim Einstampfen des Bodens an ihre Stelle Holzmodelle zu setzen, welche nach Beendigung der Arbeit herausgezogen werden; sollten dagegen die Windöffnungen einzeln im Boden vertheilt werden, so setzt man an ihrer Stelle Stahlnadeln ein, welche in irgend einer geeigneten Weise befestigt und später ebenfalls herausgenommen werden. Fig. 284

Fig. 284.



zeigt eine derartige Vorrichtung.[1]) Zu unterst steht der Windkasten *a*, auf dessen oberen abgedrehten Bord das ebenfalls abgedrehte Modell aufgesetzt wird. Die erwähnten Stahlnadeln stecken unten in Löchern der Bodenplatte und werden oben durch Schmiedeeisenringe festgehalten, welche von vier an das Modell angeschraubten Winkeln *ccc* mit diametralen Verbindungsstegen getragen werden.

Die aus saurem Material gestampften Futter und Böden werden zunächst in gelinder Temperatur getrocknet und dann allmählich erhitzt; die basischen werden sogleich gebrannt.

Das Futter des Birnenobertheiles pflegt mehrere Hundert Einsätze auszuhalten, ehe es der Erneuerung bedarf; wird es von Zeit zu Zeit

1) Nach R. von Lilienstern. Zeichnungen der Hütte 1881, Blatt 37.

sorgfältig ausgebessert, so kann man noch mehr Einsätze darin verarbeiten.[1]) Weniger haltbar ist, wie schon erwähnt wurde, der Boden. Es kommt vor, dass schon nach ein oder zwei Einsätzen eine Auswechselung nothwendig wird; als durchschnittliche Dauer der Böden kann man 24 Einsätze rechnen; auf manchen Werken werden nicht selten 40 Einsätze verarbeitet, ehe die Auswechselung erforderlich wird. Ob der Boden aus saurem oder basischem Material gefertigt wurde, macht dabei keinen Unterschied; wichtiger ist die Art und Weise der Zubereitung des Materiales und der Herstellung des Bodens. Mit je grösserer Sorgfalt und Sachkenntniss diese Arbeiten ausgeführt werden, als desto haltbarer erweist sich der Boden. Auch die Beschaffenheit des Roheisens und die in der Birne herrschende Temperatur sprechen hierbei mit. Durch manganreiches Roheisen wird z. B. ein aus saurem Material gefertigter Boden stark angegriffen, für einen basischen Boden würde ein siliciumreiches Roheisen gefährlich sein. Dass in sehr hoher Temperatur die Böden rascher zerstört werden, als in wenig hoher, bedarf kaum besonderer Erwähnung.

Die Zahl der Birnen und ihre Anordnung im Gebäude.

Für einen einigermaassen umfänglichen Betrieb sind mindestens zwei Birnen erforderlich, damit nicht bei dem häufig vorkommenden Auswechseln der Böden Betriebsstockungen eintreten können. Sind die Einrichtungen für die Ausführung dieser Auswechselungen vollkommen genug, so ist man im Stande, mit Hülfe zweier Birnen sehr ansehnliche Tageserzeugungen zu erlangen.[2]) Nicht selten, zumal beim basischen Verfahren, zieht man es jedoch vor, drei oder noch mehr Birnen anzulegen, um durchaus nicht in der Ausdehnung des Betriebes behindert zu sein.

In jedem Falle aber müssen in dem Gebäude, welches zur Aufnahme der Birnen bestimmt ist, verschiedene Höhenlagen für die Aufstellung der einzelnen Vorrichtungen angebracht werden, damit die Birnen gefüllt, aufgerichtet, nach dem Blasen in die tiefer stehende Giesspfanne entleert, und damit alsdann aus der Giesspfanne die noch tiefer stehenden Gussformen gefüllt werden können.

Die Gussformen stellt man gewöhnlich in einer etwa 1 bis 1,5 m tiefen Giessgrube auf. Das Giessen wird dadurch bequemer und die Arbeiter werden besser vor dem umherspritzenden Metall geschützt. In einer Höhe von 4 bis 7 m über der Ebene, auf welcher die Gussformen aufgestellt sind, liegen die Birnenzapfen; an der gegenüberliegenden Seite der Birnen, etwa 1,5 bis 3 m höher als ihre Zapfen, befindet sich die Ebene, auf welcher die Kupolöfen zu stehen pflegen.

Die Abbildung Fig. 285, den Aufriss einer deutschen Thomashütte darstellend, lässt diese Anordnung erkennen. Die Gussformen werden hier in geradliniger Reihe in einer flachen Grube, welche in

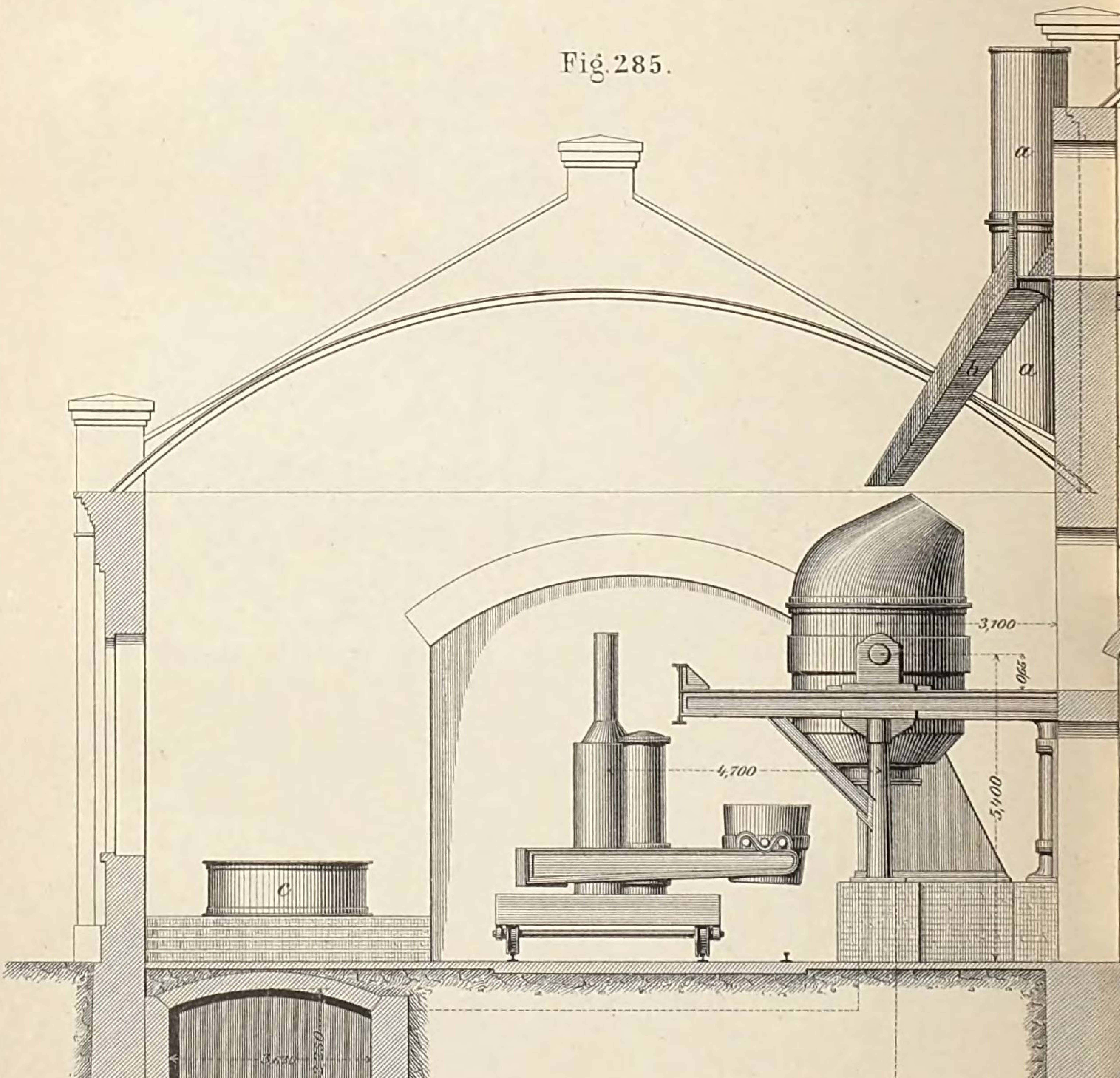
1) Nach Howe werden in amerikanischen Werken bis 30 000 Einsätze verarbeitet, ehe das Futter ganz erneuert wird.

2) So z. B. wurden während des ersten Halbjahres 1890 auf dem Werke zu Scranton in Nordamerika in zwei Birnen von je 6,5 t Inhalt mit saurem Futter täglich im Durchschnitte etwa 700 t Blöcke erzeugt („Stahl und Eisen" 1890, Seite 1024).

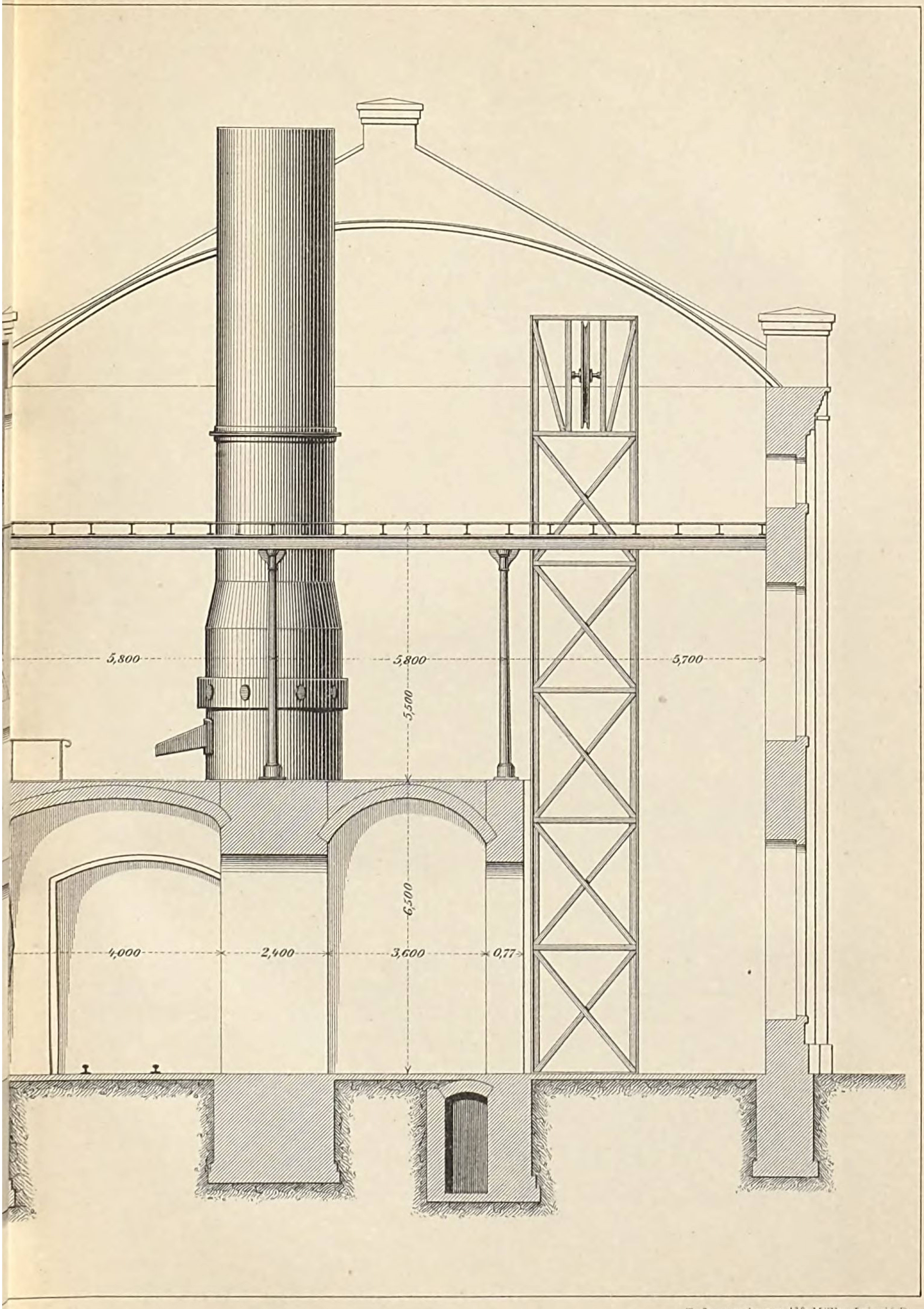
Deutsche Thomashütte.

1/150 der wirklichen Grösse.

Fig. 285.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.



Techn.art.Anst.v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

der Abbildung nicht sichtbar ist, aufgestellt; zur Bewegung der Giesspfanne dient ein Rollkrahn von der früher besprochenen Einrichtung (Fig. 267 und 268). Die Birnenzapfen liegen 5,4 m über der Hüttensohle; rechts von den Birnen sieht man die durch Gewölbe getragene Bühne für die Aufstellung der Kupolöfen, 5,5 m über dieser die aus Eisenträgern gebildete Kupolofen-Gichtbühne. Die Hinaufbeförderung der Schmelzmaterialien erfolgt mit Hülfe des rechts von den Kupolöfen sichtbaren Aufzuges. Der überwölbte Raum unterhalb der Kupolöfen dient zur Aufbewahrung von Materialien, ferner als Zugang beim Auswechseln der Birnenböden und zum Abfahren der Schlackenwagen. Ueber jeder Birne muss ein Rauchfang angebracht werden (in der Abbildung mit *a* bezeichnet) um die beim Blasen sich entwickelnde heisse Flamme unschädlich zu machen. Man setzt ihn mit feuerfesten Ziegeln aus oder giebt ihm hohle Wände und kühlt ihn mit Wasser. Bei dem abgebildeten Werke dient die Gichtbühne der Kupolöfen zugleich zum Einwerfen des beim basischen Verfahren erforderlichen Kalkzuschlages. Einzelne Lutten (Fülltrichter) *b* führen zu diesem Zwecke von der Bühne nach den Hälsen der Birnen. Damit der erwähnte Rauchfang nicht den Lutten im Wege sei, befindet sich die obere Mündung der letzteren nicht in senkrechter Ebene über den Birnen, sondern seitlich davon neben dem Rauchfange, und die Lutten führen in schräger Richtung abwärts. An der linken Seite des Gebäudes gewahrt man eine Erhöhung *c*, die Kanzel genannt, auf welcher die Vorrichtungen zur Zuleitung und Abstellung des Druckwassers für die Bewegung der Birnen und Blockkrahne sich befinden. Die Kanzel muss eine solche Stelle haben, dass man von hier aus alle durch Druckwasser bewegten Vorrichtungen im Auge hat. Unterhalb der Kanzel ist der Kanal sichtbar, in welchem die Leitungsröhren für das Druckwasser liegen.

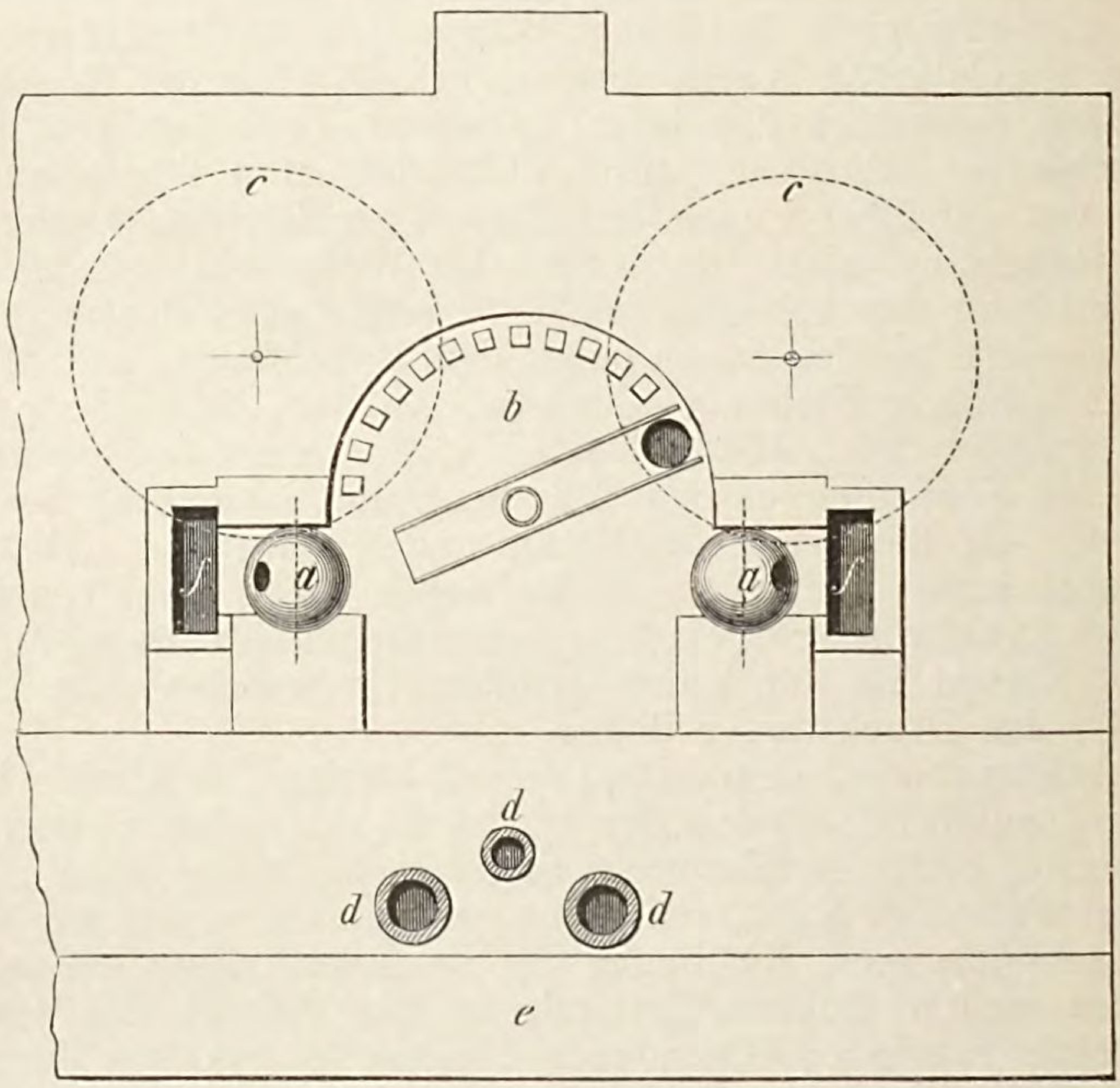
Beabsichtigt man, unmittelbar vom Hochofen das flüssige Roheisen der Birne zuzuführen, so pflegt der Aufriss des Gebäudes, diesem Zwecke entsprechend, einige Aenderungen zu erfahren. Zwar kann man auch in diesem Falle der Kupolöfen nicht ganz entsagen, um im Nothfalle (bei Betriebsstörungen, Kaltliegen des Hochofens) Roheisen schmelzen zu können, und in früherer Zeit pflegte man deshalb das vom Hochofen in einer fahrbaren Giesspfanne kommende Roheisen durch einen Aufzug auf die Ebene der Kupolöfen zu heben, um von hier aus, wie beim Schmelzen in Kupolöfen, die Birnen zu füllen. In diesem Falle bleibt demnach der Aufriss des Gebäudes unverändert. Bei Neuanlagen dagegen findet man häufiger an der anderen Seite der Birnen (also z. B. in Fig. 285 links von den Birnen) eine Hochbahn angeordnet, aus starken Trägern gebildet und von Säulen getragen, auf welcher durch eine Lokomotive vom Hochofen aus die zum Kippen eingerichtete Pfanne herbeigefahren wird, um dann unmittelbar in die Birne ausgegossen zu werden. Wo die Anlage in dieser Weise sich ausführen lässt, gestaltet der Betrieb sich einfacher, da das Heben der Pfanne wegfällt.[1])

1) Einiges Nähere hierüber: „Stahl und Eisen" 1890, Seite 941 mit Tafel XV; 1890, Seite 1041 mit Tafel XVI und XVII; 1893, Seite 101.

Damit aber eine reichliche Tageserzeugung einer Bessemer- oder Thomashütte möglich werde, ist es auch nothwendig, die Birnen im Grundrisse so gegen einander anzuordnen, dass für die Aufstellung der erforderlichen Anzahl Gussformen ein ausreichender Raum frei bleibt. Je grösser die Zahl der im Laufe des Tages zu verarbeitenden Einsätze ist, desto mehr Grundfläche ist für jenen Zweck erforderlich. In Rücksicht hierauf haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Formen der Anordnung der Birnen gegen einander herausgebildet.

Bei der ältesten Anordnung, welche von England aus verbreitet wurde, stehen, wie die Skizze Fig. 286 darstellt, zwei Birnen *aa* einander gegenüber, und die Giessgrube *b* oder überhaupt der zum Auf-

Fig. 286.

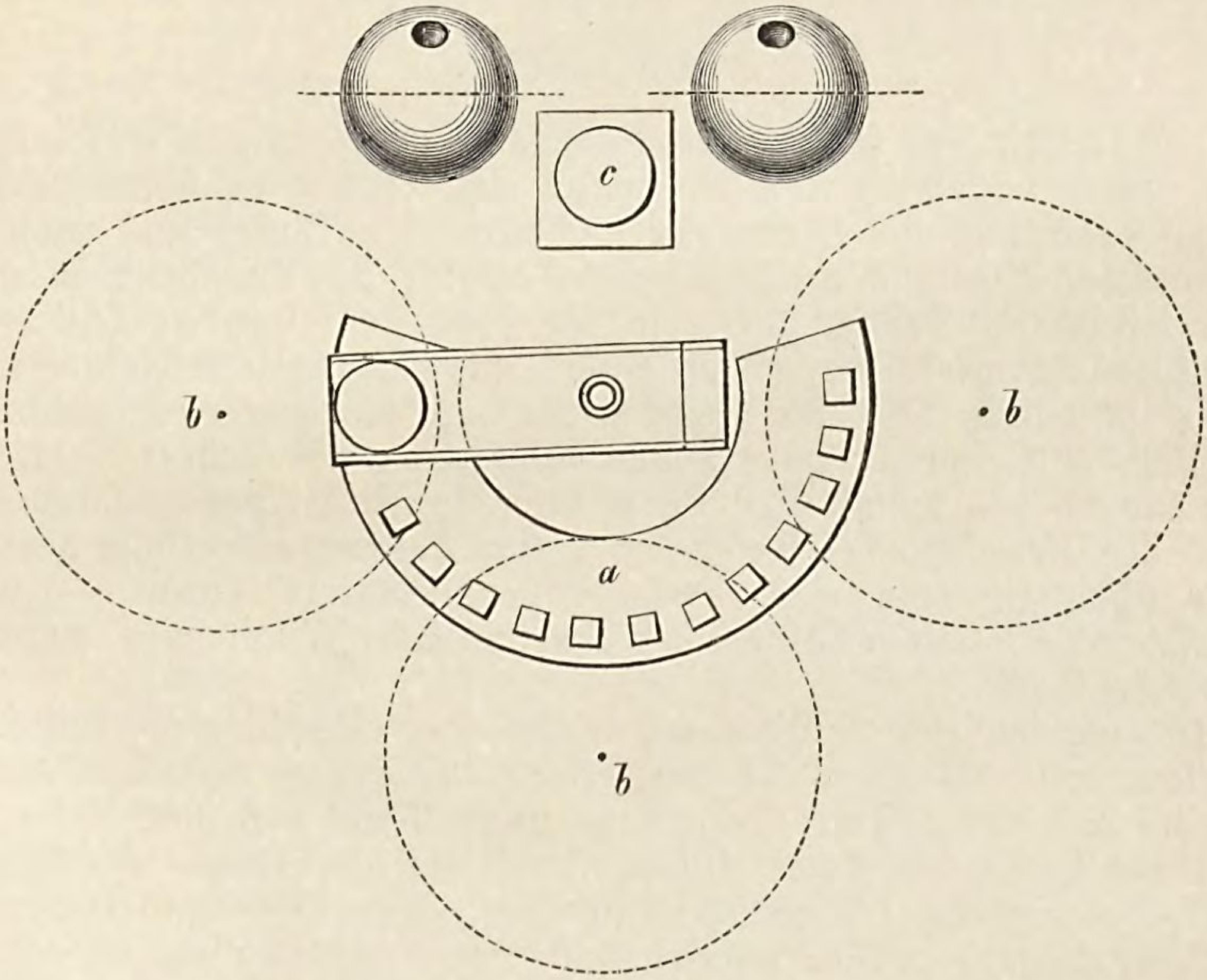


stellen der Gussformen verfügbare Raum, falls eine eigentliche Giessgrube nicht vorhanden ist, hat halbkreisförmigen Grundriss. Wie bei allen älteren Anlagen dient ein Drehkrahn von der in Fig. 265 und 266 dargestellten Einrichtung zur Vertheilung des Metalls in die Gussformen. An dem Rande der Giessgrube stehen ausserdem zwei, seltener drei Wasserdruckkrahne, welche das Einsetzen und Ausheben der Gussformen, Fortschaffen der Blöcke u. s. w. zu besorgen haben. Die Kreise *cc* bezeichnen die Stellung dieser Krahne; innerhalb der Giessgrube sieht man die aufgestelten Gussformen durch kleine Quadrate angedeutet. *ddd* sind Kupolöfen, deren kleinster (in der Mitte) für das Schmelzen des Spiegeleisens bestimmt ist. Hinter ihnen ist die Gichtbühne *e* angeordnet. *ff* sind die Rauchfänge zur Ableitung der entweichenden Gase. Die Giessgrube dieser Anlagen pflegt einen

Durchmesser von 6—7 m, bei neueren Anlagen von 8—9 m zu besitzen. Mit dem Durchmesser der Grube wächst zwar die Zahl der Gussformen, welche sich mit einem Male aufstellen lassen, zugleich aber der erforderliche Durchmesser des Krahnes und mit diesem sein Gewicht, also die erforderliche Arbeit zu seiner Bewegung und insbesondere die Schwierigkeit, die Uebelstände der einseitigen Belastung zu vermeiden. Man findet Anlagen dieser Art noch ab und an auf älteren Werken, welchen an einer Ausdehnung ihrer Leistungsfähigkeit nichts gelegen ist.

Ohne Vergrösserung des Kreisdurchmessers, innerhalb dessen die Gussformen aufgestellt sind, lässt sich eine Vermehrung der Gussformen ermöglichen, wenn man, wie Fig. 287 darstellt, die Birnen nicht ein-

Fig. 287.



ander gegenüber, sondern neben einander aufstellt, so dass der Krahn nunmehr etwa vier Fünftel des ganzen Kreises bestreichen kann (amerikanische Anordnung). Drei Blockkrahne *b b b* pflegen in diesem Falle rings um den Giessraum aufgestellt zu sein.

Mitunter hat man die gleiche Anordnung auch bei Aufstellung dreier Birnen benutzt, mit dem Unterschiede, dass deren Achsen alsdann nicht in einer geraden Linie sich befinden, sondern rechte Winkel gegen die nach den Birnen gerichteten Halbmesser des Giesskreises beschreiben.

In der Abbildung Fig. 287 bezeichnet fernerhin *c* einen Aufzug zum Emporheben der mit flüssigem Roheisen gefüllten Giesspfanne.

Wo man jedoch drei oder mehr Birnen aufstellen will, hat sich eine Anordnung besonders gut bewährt, welche bei Einführung des Thomasverfahrens zuerst auf deutschen Werken zur Anordnung gebracht

wurde und auch für die Einrichtung der in Fig. 285 im Aufrisse gezeichneten Thomashütte maassgebend gewesen ist. Die Birnen werden, wie die Birnen Fig. 287, in einer Reihe neben einander aufgestellt; statt des Drehkrahnes dient ein vor den Birnen auf Schienen laufender Rollkrahn zur Bewegung der Pfanne. Die Gussformen erhalten ihre Aufstellung in einer oder zwei Reihen seitlich von den Birnen. Man ist hierdurch weniger beschränkt in der Zahl der aufzustellenden Gussformen als bei ihrer Aufstellung im Kreise; auch die Zahl der Birnen kann beliebig gewählt werden, ohne dass eine Aenderung der Anordnung erforderlich wird.

Hinsichtlich der zahlreichen, mehr oder minder wesentlichen Abweichungen in der Anordnung der Bessemer- und Thomashütten im Einzelnen von den beschriebenen Formen muss auf die gegebene Literatur verwiesen werden.

c) Die Gebläse.

Die Luftmenge, welche das Roheisen bedarf, um in schmiedbares Eisen umgewandelt zu werden, richtet sich zwar nach der chemischen Zusammensetzung des Eisens vor und nach dem Blasen und nach dem von äusseren Umständen abhängigen Verlaufe des Frischens, lässt sich aber durchschnittlich zu 300 cbm für jede Tonne zu verarbeitenden Roheisens veranschlagen. Bei einer Nutzwirkung des Gebläses von 0,6 bis 0,7 würde also das Gebläse für eine anzusaugende Luftmenge von 450—500 cbm für jede Tonne Roheisen zu berechnen sein. Für einen gegebenen Inhalt der Birne und eine in's Auge gefasste Zeitdauer des Frischens — welche von der Zusammensetzung des Roheisens abhängig sein muss, wie früher erläutert wurde — würde sich also die in einer Minute zu beschaffende Windmenge unschwer berechnen lassen.

In den meisten Fällen schwankt die eingeblasene Luftmenge zwischen 200—300 cbm, die theoretisch angesaugte zwischen 300 bis 450 cbm in einer Minute für je eine unter Wind stehende Birne.

Diese Luft muss, damit sie im Stande sei, den Druck des flüssigen Metalls, sowie die Widerstände in den engen Durchgangsöffnungen des Birnenbodens zu überwinden, auf eine Spannung von 1,5—2,5 Atmosphären (1,5—2,5 kg Druck auf 1 qcm) verdichtet werden.

Kein anderes metallurgisches Verfahren verlangt eine so hohe Windspannung, und nur ein Cylindergebläse ist im Stande, sie zu liefern. Eben dieser hohe Druck macht besondere Maassregeln bei der Anlage der Cylindergebläse für das Bessemer- und Thomasverfahren nothwendig.

Durch die Verdichtung wird eine starke Erwärmung der Luft hervorgerufen. Ihrem nachtheiligen Einflusse auf die Dichtungen und Liderungen, sowie auf den Arbeitsverbrauch sucht man entgegen zu wirken, indem man den Gebläsecylinder mit einem Blechmantel umgiebt und durch den Zwischenraum Wasser zur steten Abkühlung des Gebläsecylinders hindurchfliesen lässt; auch die Deckel werden bisweilen gekühlt. Dennoch vermag dieses Mittel nur in beschränktem Maasse Schutz zu gewähren. Kautschukventile oder -platten, welche sich für die Ein- und Auslassvorrichtungen der Hochofengebläse häufig

als gut brauchbar erwiesen und deshalb eine Zeit lang auch bei Bessemergebläsen bisweilen verwendet wurden, zeigten sich gewöhnlich als wenig haltbar. Auch Filz als Dichtungsmittel für Klappen, oder Leder für Klappen und Ventile hat sich nicht immer gut bewährt. Am häufigsten wendet man metallene Ventile ohne besonderes Dichtungsmittel an; auch Schiebersteuerungen, welche, wie die Steuerungen des Dampfcylinders, von der Schwungradwelle aus bewegt werden, hat man für die Einlassöffnungen in Anwendung gebracht.

Den Gebläsekolben giebt man trotz der Kühlung der Cylinderwand mit Vorliebe Metallliderung.

Die Bessemergebläse sind fast ausnahmslos zweicylindrig, von zwei Dampfcylindern aus angetrieben. Die Einrichtung im Allgemeinen ist also die nämliche wie bei den Zwillingsmaschinen der Hochofengebläse (z. B. Fig. 124 auf Seite 421). Der Grund, weshalb eincylindrige Gebläse fast nie zur Anwendung kommen, ist in dem Umstande zu suchen, dass der Betrieb des Bessemergebläses nur zeitweilig stattfindet und es im Laufe eines Tages vielfach in und ausser Betrieb gesetzt werden muss. Wollte man ein eincylindriges Gebläse anwenden, so würde ein annähernd gleichmässiger Windstrom nur durch Einschaltung eines Regulators (Seite 427) sich erzielen lassen; die Wirkungsweise des Regulators aber bringt es mit sich, dass die volle Windspannung in der Leitung erst erreicht wird, nachdem das Gebläse bereits einige Zeit im Betriebe war, und ebenso, dass noch ein länger fortdauerndes Ausblasen stattfindet, nachdem das Gebläse bereits zum Stillstand gebracht wurde. Während dieser Umstand bei ununterbrochenem Betriebe ohne Belang ist, würde er bei den häufigen Pausen des Bessemerbetriebes lästig werden und Windverlust veranlassen. Zweicylindrige Gebläse machen den Regulator entbehrlich.

Wie beim Hochofenbetriebe findet man stehende und liegende Gebläse; im Ganzen sind jedoch die letzteren häufiger als die stehenden in Anwendung. Ihre Vortheile — geringe Anlagekosten, einfache Wartung, grosse Uebersichtlichkeit — kommen auch beim Bessemer- und Thomasbetriebe in Betracht; ihr Nachtheil aber, die ungleichmässige Abnutzung der Kolben- und Cylinderflächen, besitzt hier noch geringere Bedeutung als beim Hochofenbetriebe, weil jene Abnutzung wegen des nur unterbrochen stattfindenden Betriebes des Gebläses und wegen der durchschnittlich kleineren Cylinderdurchmesser noch unbedeutender ist als dort.

Man pflegt die zweicylindrigen Bessemergebläse mit Gebläsecylindern von 1,2—1,7 m Durchmesser, Dampfcylindern von 1,0—1,4 m Durchmesser bei 1,4—1,7 m Hublänge zu bauen. Die Anzahl der Umgänge in der Minute beträgt gewöhnlich 25—35, die Geschwindigkeit der Kolben in der Secunde 1,5—1,8 m, mitunter auch noch darüber.[1])

1) Nähere Belehrung über die Gebläse der Bessemer- und Thomashütten findet der Leser in den Werken: J. Schlink, Ueber Gebläsemaschinen, Berlin 1880, und Albrecht von Ihering, Die Gebläse, Berlin 1893. Auch die Abhandlungen R. M. Daelens über Bessemergebläse in der Zeitschr. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1883, Seite 174, „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 433 und 575, ferner Riedlers, Das Bessemergebläse zu Heft, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1884, Seite 2, mögen hier Erwähnung finden.

d) Das Arbeitsverfahren und der äussere Verlauf des Windfrischens.

Man arbeitet entweder unmittelbar vom Hochofen, indem man das in eine Pfanne abgestochene Roheisen der Birne zugeführt, oder man schmelzt das Roheisen in Kupolöfen um. Ersteres Verfahren ist wegen Ersparung der Umschmelzkosten billiger und aus diesem Grunde ziemlich häufig; aber es ist schwieriger wegen der unvermeidlichen, beim Hochofenbetriebe eintretenden Schwankungen in der Zusammensetzung des Roheisens. Beim Grossbetriebe lässt sich durch Einschaltung eines Mischers (Seite 632), welcher zunächst das Roheisen von mehreren Abstichen aufnimmt, der Uebelstand einer abweichenden Zusammensetzung abmindern.

Auch beim Betriebe aus dem Hochofen pflegt man jedoch, wie schon erwähnt wurde, Kupolöfen in Bereitschaft zu haben, um bei Betriebsstockungen des Hochofens nicht auch den Betrieb der Bessemer- oder Thomashütte einstellen zu müssen. Da jeder Kupolofen nach mindestens einigen Tagen der Ausbesserung bedarf, stellt man mindestens zwei, häufiger drei bis fünf Kupolöfen auf. Ihrer Anordnung gegen die Birnen wurde schon oben gedacht; ebenso der Einrichtungen für den Fall, dass man unmittelbar vom Hochofen aus das Roheisen der Birne zuführen will. Die Abmessungen der Kupolöfen werden den früher (Seite 613) gegebenen Regeln entsprechend bemessen.

Sehr wenig gebräuchlich ist das Umschmelzen in Flammöfen. Die Gründe, weshalb in den allermeisten Fällen der Kupolofen dem Flammofen vorzuziehen ist, und die Umstände, welche in Ausnahmefällen die Anwendung der Flammöfen für den in Rede stehenden Zweck rechtfertigen können, wurden früher (Seite 621) erörtert.

Für das saure Verfahren benutzt man ein Roheisen, dessen Siliciumgehalt mindestens 0,6 Hunderttheile, der Regel nach jedoch 1 bis 2 Hunderttheile und mitunter darüber beträgt [1]); der Phosphorgehalt, welcher beim Frischen keine Verringerung, sondern in Rücksicht auf die stattfindende Abnahme des Eisengewichts eher eine geringe Erhöhung erfährt, muss um so niedriger sein, je kohlenstoffreicher das Enderzeugniss werden soll, und pflegt höchstens 0,12 Hunderttheile zu betragen. Der Mangangehalt schwankt gewöhnlich zwischen 0,5 bis 2,0 Hunderttheilen, steigt bisweilen, obschon in der Jetztzeit selten, auf 4 Hunderttheile und beträgt in anderen Fällen nicht mehr als 0,1 Hunderttheil. Einen mässigen Mangangehalt (1,5 bis 2 Hunderttheile) sieht man gewöhnlich nicht ungern. Er schützt das Eisen selbst vor starker Verbrennung, wirkt hierdurch der Bildung von Eisenoxydul im Metallbade und den Folgen dieses Vorganges (Gasentwickelung, Rothbruch) entgegen, befördert die Bildung einer dünnflüssigen Schlacke, wodurch die Entstehung lästiger Ansätze im Innern der Birne eher vermieden wird, und erleichtert die Erzielung der erforderlichen Temperatur auch bei nur beschränktem Siliciumgehalte; ein hoher Mangangehalt dagegen trägt zur raschen Zerstörung des Birnenfutters bei und erhöht, da er beinahe vollständig in die Schlacke geht, den Ab-

1) Ueber Verarbeitung von Roheisen mit noch niedrigerem Siliciumgehalte als 0,6 Hunderttheilen vergleiche „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1024 (Howe).

brand. Der Schwefelgehalt des für das saure Verfahren benutzten Roheisens ist selten hoch (0,01—0,05 Hunderttheile), da die Entstehungsbedingungen dieses Roheisens (hohe Temperatur und meistens basische Schlacke) der Aufnahme von Schwefel hinderlich sind; der Kohlenstoffgehalt pflegt 3,5—4 Hunderttheile zu betragen, spielt aber für den Verlauf des Frischens nur insofern eine Rolle, als der höhere Kohlenstoffgehalt einen etwas reichlicheren Windverbrauch (längeres Blasen) erforderlich macht.

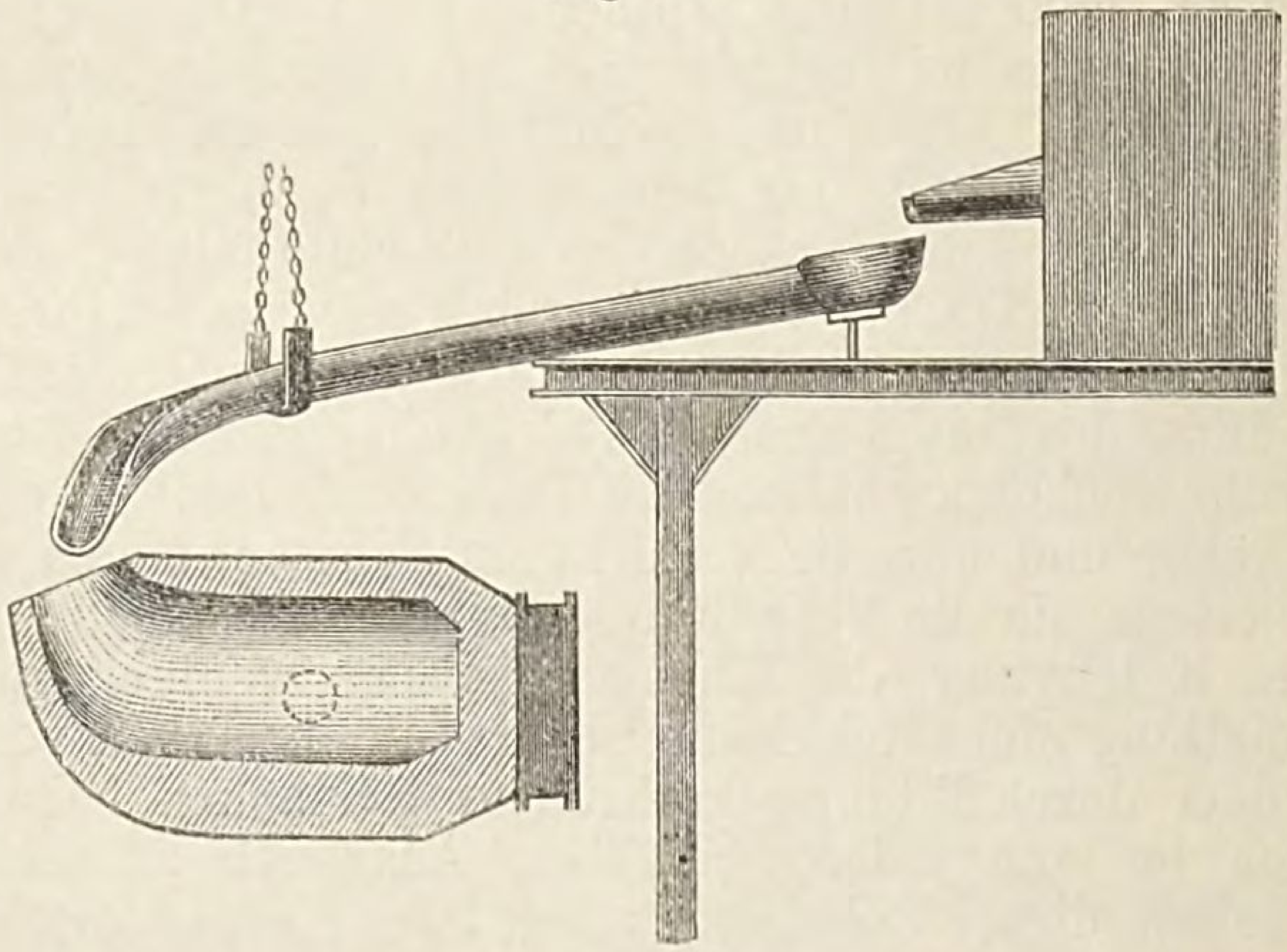
Das Roheisen für das basische Verfahren pflegt 0,2—0,5 Hunderttheile Silicium, 2—3 Hunderttheile Phosphor, 1—2 Hunderttheile Mangan zu enthalten. Der Grund, weshalb hier ein hoher Phosphorgehalt nothwendig ist, wurde auf Seite 891 besprochen. Ist man gezwungen, Roheisen mit weniger als 2 Hunderttheilen Phosphor zu verarbeiten, so muss der Siliciumgehalt entsprechend höher sein und die entstehende Schlacke wird ärmer an Phosphorsäure. Diese Schlacke aber bildet ein werthvolles Nebenerzeugniss, dessen Werth mit ihrem Phosphorsäuregehalte zu- und abnimmt. Daher ist die Verarbeitung eines phosphorreichen Roheisens mit niedrigem Siliciumgehalte vortheilhafter als der umgekehrte Fall. Ein Mangangehalt von dem angegebenen Betrage gewährt ähnliche Vortheile als beim sauren Verfahren und erleichtert besonders im Anfange des Blasens die Aufrechterhaltung der erforderlichen Temperatur. Da der Siliciumgehalt niedrig ist, der Phosphorgehalt aber zum grössten Theile erst nach dem Kohlenstoff verbrennt, ist dieser Einfluss des Mangangehaltes nicht ohne Belang. Der Schwefelgehalt des vom Hochofen kommenden Thomasroheisens ist durchschnittlich etwas höher und unterliegt stärkeren Schwankungen als der des Bessemerroheisens, da die Verhältnisse für seine Abscheidung im Hochofen bei der Erzeugung des Thomasroheisens weniger günstig sind; durch Einschaltung eines Roheisenmischers bei der Arbeit vom Hochofen (Seite 632) oder durch Bildung kalkreicher Schlacken beim Schmelzen im Kupolofen ist man jedoch befähigt, Ausgleich zu schaffen. Der Kohlenstoffgehalt dieses Roheisens pflegt 3,0—3,5 Hunderttheile zu betragen.

Schmelzt man das Roheisen im Kupolofen oder Flammofen um, bevor es der Birne überwiesen wird, so pflegt ein Theil des Silicium- und Mangangehaltes hierbei auszutreten (Seite 608, 621). Auf diesen Umstand ist bei Auswahl des Roheisens Rücksicht zu nehmen, damit das in die Birne gelangende Eisen die erforderliche Zusammensetzung besitze. Je niedriger beim Kupolofenschmelzen der Brennstoffverbrauch ist, desto höher ist im Allgemeinen der Verlust an den beiden Körpern; man ist daher im Stande, durch Aufwand etwas reichlicher bemessener Brennstoffmengen einem etwa nachtheiligen Verluste entgegen zu wirken. Dass die Oxydationswirkung des Flammofens noch stärker ist als die des Kupolofens, und dass insbesondere Mangan im Flammofen seiner grössten Menge nach auszuscheiden pflegt, wurde ebenfalls schon erwähnt (Seite 621).

Bevor das Roheisen abgestochen wird, erhitzt man die Birne durch ein darin unterhaltenes Koksfeuer zum Rothglühen. Die Verbrennung der Koks erfolgt durch einen schwachen, vom Gebläse zugeführten Windstrom. Nunmehr kippt man die Birne zunächst in umgekehrte

Stellung, um die noch darin gebliebenen Koks und die Asche zu entfernen, und legt sie alsdann auf den Rücken, mit der Mündung nach oben, um das Roheisen einlaufen zu lassen. Kommt das Roheisen auf einer Hochbahn vom Hochofen (Seite 907), so giesst man es aus der Pfanne, welche es zuführt, unmittelbar in die Birne ein; kommt es von den höher stehenden Kupolöfen an der andern Seite der Birnen, oder war es, dem Hochofen entstammend, durch einen Aufzug daselbst emporgehoben, so legt man eine entsprechend gekrümmte, mit feuerfester Masse ausgekleidete Rinne, welche, um leicht bewegt werden zu können, in Ketten zu hängen pflegt, von dem Stichloche des Schmelzofens oder von der Ausgussstelle der zum Emporheben des Roheisens von unten dienenden Pfanne nach der Birnenmündung (Fig. 288), worauf das Einlassen des Roheisens beginnt. Sobald es beendet ist, wird die Rinne entfernt, das Gebläse wird angelassen und die Birne aufgekippt. Das Frischen beginnt.

Fig. 288.



Bei dem basischen Verfahren wird vor dem Einlassen des Windes ein Kalkzuschlag gegeben, dessen Höhe 12 bis 15 Hunderttheile vom Gewichte des Roheisens zu betragen pflegt.[1]) Mitunter giebt man zunächst nur einen Theil des Kalks (etwa zwei Drittel der Gesammt-

1) Ein zu reichlicher Kalkzuschlag würde nicht allein den Wärmeverbrauch in der Birne erhöhen und dadurch abkühlend wirken, sondern auch durch Vermehrung der Schlackenmenge den Phosphorsäuregehalt der Schlacke erniedrigen und ihren Werth verringern; ein zu geringer Kalkzuschlag würde die Entphosphorung unmöglich machen. Nach Versuchen von Hilgenstock ist ein Kalkzuschlag von solcher Höhe nothwendig, dass ein Kalkphosphat von der Formel $4\,CaO, P_2O_5$, bestehend aus 61,20 Gewichtstheilen Kalkerde und 38,80 Gewichtstheilen Phosphorsäure (mit 16,93 Gewichtstheilen Phosphor), entstehen kann, während die entstehende Kieselsäure nur je ein Molekül Kalkerde (CaO, SiO_2) erheischt, um für die Phosphorabscheidung unschädlich zu werden („Stahl und Eisen" 1886, Seite 525; 1887 Seite 557). Für Roheisen mit 3 Hunderttheilen Phosphor müssten demnach ungefähr 11 Hunderttheile reine Kalkerde zugeschlagen werden, sofern das Roheisen annähernd frei von Silicium ist oder sofern eine genügende Menge anderer Basen (Manganoxydul, Eisenoxydul) zur Bindung der Kieselsäure verschlackt wird. Ein etwas höherer Kalkverbrauch ist jedoch fast immer nothwendig, da der Kalk selbst nicht frei von Kieselsäure ist.

menge) in die Birne, den Rest gegen Ende des Blasens, nachdem zuvor die entstandene phosphorsäurereiche Schlacke abgelassen worden ist. Nur gebrannter Kalk ist anwendbar, weil die Zerlegung rohen Kalksteines in der Birne eine Abkühlung des Metalls herbeiführen würde.

War das verwendete Roheisen reich an Silicium (beim sauren Verfahren) und die Anfangstemperatur nicht sehr hoch (also das Metall nicht stark überhitzt, die Birne nur mässig vorgewärmt), so besitzen die aus dem Birnenhalse strömenden Gase anfänglich wenig Leuchtkraft und sind nur durch den Widerschein des darunter befindlichen flüssigen Metalls röthlichgelb gefärbt. Kohlenstoff verbrennt noch nicht oder nur in unbedeutendem Maasse; die Verbrennung erstreckt sich vorwiegend auf Silicium und Mangan. Der Gasstrom besteht fast nur aus Stickstoff mit kleineren Mengen unverzehrten Sauerstoffs. Zahlreiche Funken werden herausgeworfen. Im Innern der Birne hört man ein gurgelndes Geräusch, hervorgerufen durch den das Eisenbad durchdringenden Wind, dessen Sauerstoffgehalt zur Verbrennung jener Körper verbraucht wird.

Bald aber ändert sich das Bild. Der Kohlenstoff beginnt zu verbrennen. Die Farbe der Flamme wird bläulichweiss, sie nimmt die Form eines langen spitzen Kegels an und beginnt stark zu leuchten, die Zahl der Funken und ihre Grösse nimmt ab. War das Metall schon beim Beginne des Blasens sehr heiss, und war der Siliciumgehalt nicht sehr hoch, so nimmt man diese Zeichen der beginnenden Kohlenstoffverbrennung bereits von Anfang an wahr. So z. B. zeigt sich beim basischen Verfahren sofort die leuchtende Flamme, hier gewöhnlich durch mitgenommene Kalktheilchen stark gelb gefärbt, auch wohl röthlich, wenn der Kalk strontiumhaltig ist.[1])

Immer heftiger wird jetzt die Gasentwickelung. Die Flamme ist blendend weiss geworden, und erreicht eine Länge bis zu 6 m; das gurgelnde Geräusch, welches den Beginn des Frischens begleitete, verwandelt sich in ein donnerndes Getöse, hervorgerufen durch die massenhafte Entwickelung von Kohlenoxydgas im engen Raume; Schlacken und Eisenkörner werden durch die heftig entweichenden Gase aus dem Birnenhalse herausgeschleudert, sofern der Rauminhalt der Birne nicht sehr reichlich bemessen ist. Der Gang des Gebläses wird verlangsamt, wenn ein allzu heftiges Kochen grössere Eisenverluste durch Auswerfen befürchten lässt.

Von dem Zeitpunkte an, wo die Flamme anfing lebhafter zu werden, sieht man aus ihrer Spitze einen braunen Rauch aufsteigen, dessen Menge zunimmt, je mehr der Kohlenstoffgehalt abnimmt. Er besteht aus Oxyden des Mangans und Eisens, welche durch den Sauerstoffgehalt des Windes gebildet und durch den Gasstrom mitgerissen werden.[2])

1) Schon sehr geringe Mengen Strontium im Zuschlagskalk genügen, die den Chemikern bekannte Flammenfärbung hervorzurufen.

2) Es ist schwer, den Rauch für die Untersuchung zu sammeln, ohne dass er von Fremdkörpern verunreinigt wäre. Brusewitz fand nachstehende Zusammensetzung:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO
17,92	2,08	15,55	61,61	0,25	0,61.

(Iron, vol. XIII, p. 674.) Das Mangan ist jedoch jedenfalls nicht als Oxydul, sondern als Oxyduloxyd (Mn_3O_4) zugegen.

Ob auch eine Verflüchtigung und spätere Verbrennung metallischen Mangans stattfand, wie man häufig annimmt, ist zweifelhaft.

Mehr und mehr verringert sich nunmehr der Kohlenstoffgehalt des flüssigen Eisens, schwieriger als zuvor wird er von dem Sauerstoff erreicht, und seine Verbrennung erlahmt. Die Flamme wird schwächer, unruhiger, durchsichtiger, während jener erwähnte braune Rauch sich mehrt und die Spitze der Flamme vollständig einhüllt; das Getöse im Innern der Birne wird wieder schwächer. Die sämmtlichen äusseren Erscheinungen werden denen im Anfange des Blasens wieder ähnlich; nur der sich massenhaft entwickelnde braune Rauch und die Abwesenheit der Funken in der Flamme liefern deutliche Unterscheidungsmerkmale. Der weitere Verlauf hängt nunmehr davon ab, ob man auf saurem oder basischem Futter arbeitete, und ob man kohlenstoffreiches oder kohlenstoffarmes Eisen erzeugen will.

Stellt man in saurer Birne wirklichen Stahl dar, so pflegt man von vornherein ein an Silicium nicht übermässig reiches Roheisen (1,0 bis 1,75 Hunderttheile Silicium) zu verwenden und das Blasen zu unterbrechen, ehe der Kohlenstoffgehalt verbrannt ist. Von dem Kohlenstoffgehalte, welchen der fertige Stahl besitzen soll, hängt es in erster Reihe ab, wann das Blasen aufhören muss. Verschiedene Merkmale dienen zur Erkennung des richtigen Zeitpunktes. Schon das Aussehen der Flamme dient dem erfahrenen Betriebsmanne als ein ziemlich sicheres Kennzeichen. Häufig und mit gutem Erfolge bedient man sich auch des Spectroskops, mit welchem man die Flamme betrachtet.[1]) Ein Taschenspectroskop reicht für diesen Zweck aus. Seine Anwendung beruht auf dem Umstande, dass bei Verarbeitung gleichen Roheisens auch die Erscheinungen, welche man bei Beobachtung der Bessemerflamme mit dem Spectroskope gewahrt, stets genau wiederkehren. Hat man also einmal ermittelt, welches Ansehen das Spectrum in dem Augenblicke besitzt, wo die Entkohlung den gewünschten Grad erreicht hat, so ist es nicht schwer, in allen künftigen Fällen genau diesen Zeitpunkt anzugeben, sobald man wiederum die Vorgänge mit dem Spectroskope verfolgt. Es bedarf demnach zur Benutzung des Spectroskopes für diesen Zweck keineswegs einer wissenschaftlichen Vorbildung; auch der Arbeiter, der die Vorrichtungen zum Kippen der Birne und zum Abstellen des Windes handhabt, lernt bald die Benutzung. Beim Beginne des Blasens zeigt sich, so lange die Flamme noch wenig leuchtet, regelmässig ein schwaches Spectrum ohne helle Linien. Steigt die Temperatur, so wird das Spectrum deutlicher, breitet sich aus, und nun mit einem Male blitzt eine gelbe Linie (Natriumlinie) auf, deutlich sich abhebend. Anfänglich erscheint und verschwindet sie rasch mehrmals hinter einander, alsdann wird sie heller und bleibt beständig. Ausser der einen starken gelben Linie erscheinen häufig mehrere schwächere daneben. Nach der Natriumlinie tritt gewöhnlich links davon eine Linie in Roth auf, unter Umständen auch mehrere rothe Linien, rechts grüne Linien, noch weiter rechts blaue. Letztere entstehen, wie es scheint, nicht regelmässig, sondern nur bei einzelnen

1) Von Professor Roscoe im Jahre 1863 auf einem Eisenwerke in Sheffield zuerst versucht.

Roheisensorten. In der umgekehrten Reihenfolge, als die Linien erschienen, verschwinden sie wieder, d. h. die zuletzt erschienenen verschwinden zuerst; aber die Zeitdauer des Verschwindens, welches gegen Ende der Kohlenstoffverbrennung einzutreten pflegt, verläuft rascher als das Erscheinen. Zuletzt bleibt noch die gelbe Natriumlinie. Soll das Frischen bei bestimmtem Kohlenstoffgehalte des Bades unterbrochen werden, so giebt das Verschwinden der einen oder anderen Linien das Merkmal dafür an.

Gewöhnlich nimmt man auch, wenn man den Zeitpunkt gekommen erachtet, wo die Entkohlung den gewünschten Grad erreicht hat, eine Probe. Man taucht zu diesem Zwecke, nachdem die Birne auf den Rücken gelegt und das Blasen inzwischen eingestellt wurde, eine nur ganz wenig erwärmte Eisenstange in das geschmolzene Metall und zieht sie alsbald wieder heraus. An der Stange bleibt eine Schlackenkruste sitzen, in der sich Eisenkügelchen von einigen Millimetern Durchmesser befinden. Man taucht die Stange in Wasser und schlägt mit einem Hammer die Schlacke ab. Ihre Farbe giebt den ersten und ziemlich sicheren Anhalt, wie weit die Entkohlung vorgeschritten ist. Mit abnehmendem Kohlenstoffgehalte des Eisens nimmt der Eisengehalt der Schlacke zu, sie wird schwarz, blasig, während sie bei geringerem Eisengehalte auf dem Bruche eine olivengrüne bis graugrüne Färbung, durch den Mangangehalt hervorgerufen, zu besitzen pflegt. Sondert man nun durch Zerklopfen der Schlacke die Eisenkügelchen aus und schlägt sie auf einem Ambose mit dem Hammer flach, so erhält man durch den Widerstand, welchen sie dem Hämmern entgegensetzen, einen Maassstab für ihre Härte und Dehnbarkeit, welche Eigenschaften, wie bekannt, vornehmlich von dem noch anwesenden Kohlenstoffgehalte abhängig sind. Kohlenstoffärmeres Eisen lässt sich mit Leichtigkeit und ohne Kantenrisse zu bekommen platt schlagen, härterer Stahl reisst. Bei einiger Uebung ermöglicht dieses Verfahren ein recht zuverlässiges Urtheil.

Auch wenn man bei noch ziemlich hohem Kohlenstoffgehalte das Blasen unterbricht, kann doch das Eisen bereits sauerstoffhaltig geworden sein und dadurch Neigung zu Rothbruch und zur Gasentwickelung beim Giessen bekommen haben, insbesondere dann, wenn man einen manganarmen Einsatz verarbeitete. Man setzt demnach in der Regel zur Zerstörung des gebildeten Eisenoxyduls Eisenmangan zu.[1]) Je weniger man den noch vorhandenen Kohlenstoffgehalt auf's neue anzureichern beabsichtigt, desto manganreicher wählt man den Zusatz (Seite 893), um mit einer kleinen Menge auszukommen; sehr erheblich braucht in keinem Falle die Menge der zugesetzten Legirung zu sein, da der Sauerstoffgehalt des Bades noch nicht bedeutend sein kann. Von reichem Eisenmangan pflegt man nicht mehr als 0,3—0,5 Hunderttheile des Roheisengewichtes zuzusetzen, also auf 5 t 15—25 kg; mitunter

1) In Schweden arbeitet man bei der Erzeugung von Stahl in der Bessemerbirne häufig ohne den Manganzusatz und begnügt sich, einen manganreichen Einsatz (2 bis 4 Hunderttheile Mangan) zu verwenden. (Vergl. Akermans Abhandlung a. a. O.) Dieses in Schweden schon seit Jahrzehnten ausgebildete Verfahren war früher auch in Deutschland hier und da unter der Bezeichnung „schwedisches Verfahren“ in Anwendung.

noch weniger. Das Eisenmangan wird im angewärmten Zustande in den Hals der Birne geworfen, nachdem diese auf den Rücken gelegt worden ist und man sich durch die zuvor erwähnten Proben überzeugt hat, dass die Entkohlung das beabsichtigte Maass erreicht hat. Gewöhnlich entsteht beim Einwerfen, zumal wenn das Metall sehr heiss ist, ein Aufwallen, durch entstehendes Kohlenoxyd hervorgerufen, und eine Flamme schlägt aus dem Birnenhalse. Um die Gleichmässigkeit der Mischung zu befördern, richtet man auf einigen Werken die Birne nochmals auf und bläst wenige Secunden hindurch; alsdann folgt das Ausgiessen in die zuvor erhitzte Pfanne und aus dieser in die bereit gestellten Gussformen.

Will man in der sauren Birne ein kohlenstoffarmes Erzeugniss gewinnen, oder ist zur Entfernung eines hohen Siliciumgehaltes ein länger fortgesetztes Frischen erforderlich, so bläst man, bis die Flamme fast oder ganz erloschen ist, und giebt nunmehr erst den Zusatz. Die Erkennung des richtigen Zeitpunktes ist hier leichter als in dem zuerst besprochenem Falle; dennoch pflegt man auch hier eine Probe der Schlacke und des Eisens der Besichtigung und Prüfung in der beschriebenen Weise zu unterziehen. Da das Bad sauerstoffreicher geworden ist als bei vorzeitiger Unterbrechung, muss auch der Manganzusatz etwas reichlicher bemessen werden; von Eisenmangan giebt man 0,5—2 Hunderttheile des Einsatzgewichtes, von Spiegeleisen 2 bis 10 Hunderttheile, abweichend nach seinem Mangangehalte und nach dem Kohlenstoffgehalte, welchen das Erzeugniss erhalten soll. Nicht selten giebt man zunächst einen geringeren Zusatz von Eisenmangan zur Zerstörung des Eisenoxydulgehaltes und alsdann einen Spiegeleisenzusatz zur Anreicherung des Kohlenstoffgehaltes. Eisenmangan wird, wie in dem zuerst beschriebenem Falle, in nur angewärmtem Zustande in die Birne gebracht, Spiegeleisen erhitzt man bis zum Rothglühen oder schmelzt es, wenn ein grösserer Zusatz davon erforderlich ist, in einem besonderen kleinen Kupolofen, um es im flüssigen Zustande zuzusetzen. Beim Schmelzen ist jedoch ein Manganverlust kaum zu vermeiden[1]), dessen Betrag bei der Bemessung des Zusatzes zu berücksichtigen ist; in den meisten Fällen sieht man daher davon ab, das Spiegeleisen zu schmelzen. Stärker als bei dem Zusatze zu weniger entkohltem Eisen pflegt das erwähnte Aufwallen zu sein, zumal wenn Spiegeleisen als Zusatz benutzt wurde, ohne dass zuvor ein Eisenmanganzusatz gegeben war; bei sehr hoher Temperatur des Metalls und Zusatz flüssigen Spiegeleisens ist es vorgekommen, dass der Birneninhalt, wie bei einer Explosion, herausgeschleudert wurde.[2])

Wesentlich anders ist der schliessliche Verlauf beim Thomasverfahren. Die hier beabsichtigte Entphosphorung ist in der hohen Temperatur des Metalls erst in vollem Umfange möglich, nachdem der Kohlen-

1) Vergleiche die Analysen auf Seite 622.

2) Auf Seite 317 sind Analysen der entweichenden Gase vor und nach dem Zusatze mitgetheilt worden, welche den Beweis liefern, dass eine Neubildung von Kohlenoxyd die Veranlassung des Aufkochens ist. Je heisser das Metall ist, desto stärker ist das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff, in desto reicherem Maasse wird er bei der Einwirkung des Eisenoxyduls auf den gegebenen Zusatz in Mitleidenschaft gezogen.

stoffgehalt bis auf sehr geringe Mengen ausgetreten ist; alsdann muss ein Nachblasen folgen, welches den Phosphor ausscheidet. Wie lange dieses Nachblasen währen muss, bis der Phosphorgehalt des Eisens auf ein bestimmtes Maass verringert ist, wird durch den Versuch ermittelt; meistens genügen vier bis fünf Minuten nach dem Erlöschen der Flamme. Auf vielen Werken bestimmt man mit Hülfe der Uhr den Zeitpunkt, wann nun das Blasen aufhören und die Birne gekippt werden soll; auf anderen hat man am Gebläse einen Hubzähler eingerichtet und stellt das Blasen ein, wenn die bestimmte Anzahl Kolbenwechsel vollbracht sind. Mit ziemlicher Sicherheit lässt sich auf diese Weise der Augenblick feststellen, wo die Abscheidung des Phosphors das gewünschte Maass erreicht hat; da jedoch auch der Phosphorgehalt des verarbeiteten Roheisens Schwankungen unterliegt, pflegt man, ehe der Zusatz des Eisenmangans stattfindet, durch eine besondere Probe sich grössere Gewissheit, dass die Entphosphorung genügend sei, zu verschaffen. Man schöpft mit einer eisernen, mit Lehm ausgestrichenen Schöpfkelle eine Probe des flüssigen Metalls aus der auf den Rücken gelegten Birne, giesst sie in eine eiserne Form, schmiedet den erhaltenen kleinen Block unter einen Dampfhammer zu einer flachen Scheibe oder einem Flachstabe aus, löscht die Probe in Wasser ab und prüft sie auf ihre Biegungsfähigkeit (Seite 701). Da der Kohlenstoffgehalt in jedem Falle weniger als 0,1 Hunderttheil beträgt, muss die Probe auch bei einer Stärke von mehreren Millimetern sich flach zusammenschlagen lassen, ohne zu reissen. Die Anstellung des ganzen Versuchs beansprucht nur wenige Minuten, so dass eine nachtheilige Abkühlung des in der Birne stehenden Metalls, welches noch von der Schlacke bedeckt ist, nicht eintreten kann. Ist das Ergebniss des Versuches befriedigend, so erfolgt gewöhnlich zunächst das Abgiessen der Schlacke in eine fahrbare, unter die Birne gebrachte Pfanne und hierauf der Zusatz von Eisenmangan oder Spiegeleisen; war die Probe noch spröde und zeigte sie ein verhältnissmässig grobkörniges Gefüge, ein sicheres Zeichen des noch anwesenden reicheren Phosphorgehaltes[1]), so wird die Birne noch einmal aufgerichtet und das Blasen einige Zeit fortgesetzt.

Wollte man die Schlacke erst abgiessen, nachdem der Manganzusatz gegeben ist, so würde man Gefahr laufen, dass durch den Zusatz, insbesondere durch seinen Kohlenstoffgehalt, Phosphor reducirt und in das Eisen zurückgeführt würde.

Die Höhe des Zusatzes pflegt in ähnlicher Weise wie beim sauren Verfahren mit annähernd völliger Entkohlung bemessen zu werden. Auch hier giebt man, sofern man nicht ganz weiches Eisen darstellen, sondern ihm einen etwas höheren Kohlenstoffgehalt zuführen will, gewöhnlich Eisenmangan und dann Spiegeleisen; z. B. für ein Erzeug-

1) Die Benutzung des Bruchaussehens für die Schätzung des Phosphorgehaltes lässt sich nur durch den Vergleich von Proben mit abweichendem Phosphorgehalte erlernen. Der Ausdruck: „ein verhältnissmässig grobkörniges Gefüge“ ist gewählt worden, weil das Gefüge des in beschriebener Weise behandelten Thomaseisens auch bei noch ziemlich hohem Phosphorgehalte (0,1 Hunderttheil oder darüber) feinkörnig erscheint, wenn man es mit dem Gefüge manchen anderen Eisens, z. B. kohlenstoffarmen Schweisseisens, vergleicht.

niss mit etwa 0,3 Hunderttheilen Kohlenstoff auf je 100 kg des Einsatzgewichtes 0,8 kg Eisenmangan mit 60 Hunderttheilen Mangan nebst 6 kg Spiegeleisen mit 12 Hunderttheilen Mangan, oder ähnlich.[1])

Nachdem der Zusatz gegeben ist, folgt auch beim Thomasverfahren das Ausgiessen in die erhitzte Pfanne und aus dieser in die Gussformen.

In den Fällen, wo man nach vorausgegangener Entkohlung ein kohlenstoffreicheres Eisen darstellen will, lässt sich der zur Kohlung des Eisens bestimmte Spiegeleisenzusatz entbehrlich machen, wenn man nach dem auf Seite 893 bereits kurz erwähnten Darbyverfahren Kohlenstoff in fester Form zuführt. In verschiedener Weise lässt sich der Zusatz bewerkstelligen. Gewöhnlich benutzt man zur Aufnahme der feingemahlenen Kohle einen aus Eisenblech gefertigten trichterförmigen Behälter mit einem Ausflussrohre, welches dicht über der Stelle mündet, wo das Ausgiessen des Metalls aus der Birne stattfindet. Ein Schieber regelt den Austritt der Kohle. Sobald das Metall aus der Birne auszufliessen beginnt, öffnet man den Schieber, so dass die niederrieselnde Kohle unmittelbar mit dem fliessenden Eisen zusammentrifft und in die Pfanne mitgenommen wird.[2]) Als Kohle pflegt schwefelarmer Koks oder Graphit benutzt zu werden. Es findet ein Verlust des Kohlungsmateriales statt, welcher durch den Versuch ermittelt und in Rechnung gestellt werden muss; bei Anwendung von Graphit pflegt er 15—20 Hunderttheile zu betragen, bei Anwendung von Koks ist er grösser. Wenn die Höhe dieses Verlustes ermittelt ist und bei Bemessung des Zusatzes berücksichtigt wird, lässt sich auch bei Herstellung kohlenstoffreichen Stahles die Erzielung eines bestimmten Kohlenstoffgehaltes mit ziemlicher Sicherheit regeln. Ein Zusatz von Eisenmangan zur völligen Zerstörung des Eisenoxydules im flüssigen Eisen und Beseitigung des Rothbruches ist auch bei Anwendung des Darbyverfahrens unentbehrlich; nur das zur Kohlenstoffanreicherung dienende Spiegeleisen wird erspart.[3]) Das Spiegeleisen aber führt nicht allein Kohlenstoff, sondern auch Eisen und Mangan zu, und die Menge des schliesslich erfolgenden Flusseisens ist demnach bei Spiegeleisenzusatz entsprechend grösser als bei der Kohlung nach dem Darbyverfahren. Dieser Umstand darf nicht ausser Acht gelassen werden,

1) Entkohltes Thomasmetall kann nach Seite 253 etwa 1,1 Hunderttheil Eisenoxydul enthalten, zu dessen Zerlegung 0,86 Hunderttheile metallisches Mangan erforderlich sein würden, wenn nur dieses die Zerlegung bewirkte. Da jedoch, wie schon hervorgehoben wurde, auch der Kohlenstoffgehalt bei der Zerlegung mitwirkt, genügt unter Umständen sogar ein noch etwas geringerer Zusatz, nicht allein das Eisenoxydul zu zerlegen, sondern sogar einen mässigen, für die völlige Beseitigung des Rothbruches erforderlichen Ueberschuss an Mangan dem Eisen zuzuführen.

2) Abbildung der Vorrichtung: „Stahl und Eisen" 1890, Seite 925.

3) So z. B. gebrauchte man nach Thielen („Stahl und Eisen" 1890, Seite 924) bei Eisenwerk Phönix zur Darstellung von Schienenstahl aus der Thomasbirne für eine Erzeugung von 9 bis 9,5 t als Zusatz:

a) bei Kohlung durch Spiegeleisen	
Eisenmangan mit 60 Hunderttheilen Mangan	80 kg
Spiegeleisen „ 12 „ „	600 „
b) bei Kohlung nach Darbys Verfahren	
Eisenmangan wie oben	80 „
Spiegeleisen	— „
Koks	60 „

wenn man den Nutzen, welchen das Darbyverfahren in wirthschaftlicher Beziehung etwa zu gewähren vermag, richtig beurtheilen will.

Nicht immer ist die Temperatur des Metalls in der Birne so, wie es dem günstigen Verlaufe des Verfahrens am besten entspricht. Ein kalter Gang entsteht, wenn das Roheisen selbst nicht genügend überhitzt war, wenn es nicht die ausreichende Menge solcher Körper enthielt, welche durch ihre Verbrennung die Temperatur steigern sollen (insbesondere Silicium beim sauren Verfahren), wenn die Birne ungenügend vorgewärmt war oder das Blasen zu langsam von statten geht. Dicke Funken, aus Eisenkügelchen bestehend, welche aus dem dickflüssigen Metalle emporgeschleudert wurden, sind dem austretenden Gasstrome beigemengt; der Wind findet stärkeren Widerstand, der Gang des Gebläses verlangsamt sich, die Windspannung steigt; an den Windröhren bilden sich Ansätze erstarrten Metalls. Da in der niederen Temperatur des Bades die Kohlenstoffverbrennung später beginnt und da die zugeführte Windmenge wegen der höheren erforderlichen Windspannung geringer ist, nimmt das eigentliche Kochen (die Kohlenoxydbildung) langsamer zu, als beim regelmässigen Gange; die Flamme erlischt zuletzt plötzlich. Kippt man nun die Birne um, so zeigt die Schlacke dickflüssige Beschaffenheit und setzt sich an den Wänden fest; die Flamme bei Spiegeleisenzusatz ist schwach, die Gasentwickelung unbedeutend. Das Eisen selbst fliesst matt und erstarrt rasch; mitunter versetzt sich die Ausflussöffnung aus der Giesspfanne mit starr gewordenem Metalle, und man ist gezwungen, die Entleerung durch Kippen zu bewirken. In jedem Falle findet eine reichliche Bildung von „Schalen“, d. h. erstarrten Metalls an den Wänden der Giesspfanne statt. Gewahrt der Betriebsleiter, dass der Gang zu kalt ist, so kann er mitunter durch Beschleunigung des Blasens in gewissem Grade Abhülfe schaffen; erfolgreicher ist gewöhnlich ein Einwerfen von reichem Siliciumeisen oder auch wohl von Aluminium in die Birne, sofern nicht eine sonstige nachtheilige Beinflussung dadurch zu befürchten ist.

Heisser Gang entsteht durch die entgegengesetzten Einflüsse als der kalte Gang, insbesondere durch zu hohen Siliciumgehalt und allzu beträchtliche Ueberhitzung des Roheisens vor dem Einlassen in die Birne. Die Flamme ist durchsichtiger, bläulicher als beim gewöhnlichen Gange und erlischt allmählicher; da das Metall einen hohen Grad von Dünnflüssigkeit besitzt, ist das Geräusch in der Birne weniger heftig, und das Manometer zeigt bei gleicher Hubzahl des Gebläses geringere Windspannung. Das Kochen und die Flammenentwickelung bei Zusatz von Spiegeleisen ist heftig, die Flamme lang und spitz. Bei zu heissem Gange wird das Birnenfutter stark angegriffen; auch die chemische Zusammensetzung des Erzeugnisses kann durch zu heissen Gang in nicht erwünschter Weise Aenderungen erleiden, was bei Besprechung der chemischen Vorgänge besondere Erläuterung finden wird. Abhülfe lässt sich schaffen, indem man Flusseisenstücke — Abfälle von früheren Einsätzen, Schienenenden und dergleichen mehr — in die Birne wirft und von dem flüssigen Metalle schmelzen lässt. Nicht selten arbeitet man absichtlich auf Erzielung eines heissen Ganges, welcher minder nachtheiliger ist als ein zu kalter Gang und in billiger

Weise die Aufarbeitung ziemlich reichlicher Mengen jener Abfälle ermöglicht.

Mehrfach hat man versucht, durch diesen oder jenen Zusatz beim Windfrischen (ausser dem für das basische Verfahren erforderlichen Kalkzuschlage) das Verfahren zu vervollkommnen, die Abscheidung bestimmter Fremdkörper, z. B. des Phosphors oder Schwefels zu erleichtern, beim sauren Verfahren die Anwendung eines siliciumarmen Eisens zu ermöglichen, oder sonstige Ziele zu erreichen, ohne dass irgend einer dieser Versuche Erfolg gehabt hätte.[1])

Auch erhitzter Gebläsewind statt des kalten ist versuchsweise zur Anwendung gekommen. Es zeigte sich dabei, dass man zwar durch Erhitzung des Windes die Möglichkeit erlange, ein siliciumärmeres Roheisen für das saure Verfahren zu verwenden, dass aber trotzdem die raschere Zerstörung des Birnenbodens, ferner die Ausdehnung des vom Winde durchströmten Birnenzapfens, welche seine Drehung erschwerte, im Vereine mit den Mehrkosten der Winderhitzung das Verfahren nicht als zweckmässig erscheinen liess.[2])

e) Der chemische und physikalische Verlauf des Windfrischens.

Für den Verlauf sind zunächst die Temperatur in der Birne und die Beschaffenheit des Birnenfutters (ob sauer oder basisch) maassgebend.

Mit der Temperatur wächst das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff in stärkerem Maasse als das Vereinigungsbestreben des Phosphors, Siliciums, Mangans zum Sauerstoff (Seite 257). In der hohen Temperatur, welche das flüssige Eisen in jedem Falle besitzt, ist daher eine weitgehende Phosphorverbrennung überhaupt nicht eher möglich, bis der Kohlenstoffgehalt zum grössten Theile ausgetreten ist; auch Silicium und Mangan können, wenn die Temperatur sehr hoch steigt, durch einen noch anwesenden Kohlenstoffgehalt vor der Verbrennung geschützt werden. Die Zusammensetzung des erzeugten Flusseisens, insbesondere sein Silicium- und Mangangehalt, kann daher unter übrigens gleichen Verhältnissen Abweichungen zeigen, je nachdem das Frischen in höherer oder weniger hoher Temperatur verlief.

Die Einflüsse, von welchen die Temperatur in der Birne abhängt, haben grösstentheils schon auf Seite 888 Erwähnung gefunden. Wenn nach Früherem (Seite 891) durch Verbrennung von 1 Hunderttheil Silicium die Temperatur des flüssigen Eisens um annähernd 300 C. gesteigert werden kann, so folgt, dass schon minder bedeutende Abweichungen im Siliciumgehalte des Roheisens merkbare Unterschiede im Verlaufe des Frischens hervorzubringen vermögen. Aehnlich ist

1) Näheres über die in dieser Beziehung gemachten, oft recht wunderlichen Vorschläge (z. B. Einleiten von Leuchtgas, Chlorgas, Einblasen von Salmiak u. a. m.) findet der Leser in Weddings Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 449—458. Oefters ist auch das Einleiten von Wasserdampf als entschwefelndes oder entphosphorendes Mittel in Vorschlag gebracht, und hier oder da ist es versucht worden (z. B. durch Forsyth, Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XII, p. 288), obschon die physikalischen und chemischen Eigenthümlichkeiten des Windfrischens die gänzliche Erfolglosigkeit hätten voraussehen lassen können.

2) Vergl. Jahrb. der Bergakademieen zu Leoben u. s. w., Band XXII, Seite 436.

die Wirkung des Phosphorgehaltes, merklich, wenn auch bei weitem nicht so kräftig, die des Mangans. Auch die Grösse des Einsatzes ist von Belang. Je mehr Eisen mit einem Male verarbeitet wird, desto günstiger ist das Verhältniss der entwickelten Wärme zu den Wärmeverlusten. Der Rolle, welche die Zeitdauer des Frischens spielt, ist ebenfalls bereits gedacht worden. Unter übrigens ungünstigen Verhältnissen lässt sich doch eine ausreichend hohe Temperatur erzielen, wenn man durch Anwendung eines kräftigen Gebläses befähigt ist, das Frischen in kurzer Zeit durchzuführen; lässt aber die Zusammensetzung des Roheisens die Entstehung einer hohen Temperatur erwarten, so ist es zweckmässig, das Frischen zu verlangsamen. Vornehmlich dieser Umstand liefert die Erklärung, dass die Zeitdauer des Frischens in den verschiedenen Fällen zwischen 8 bis 40 Minuten schwanken kann.

Durch kieselsäurereiches Futter wird die Verbrennung des Mangans und Eisens befördert, durch basisches Futter und Anwendung basischer Zuschläge die Verbrennung des Siliciums befördert, diejenige des Phosphors überhaupt erst ermöglicht (Seite 36, 258). Auf kieselsäurereichem Futter nimmt der Gehalt an Phosphor nicht ab, sondern eher etwas zu, da die Gesammtmenge des Eisens, in dem er vertheilt ist, sich verringert. Auch die Verbrennung des Kohlenstoffs geht leichter und rascher von statten, wenn basische als wenn saure Schlacken gebildet werden. In dem ersten Falle ist die Neigung des Eisens und Mangans zum Verbrennen geringer, und der Kohlenstoff wird stärker durch die Verbrennung in Anspruch genommen; ist Eisenoxydul entstanden und in die Schlacke eingetreten, so wird es durch Kohlenstoff leichter aus basischer als saurer Schlacke wieder reducirt und wirkt demnach im ersteren Falle kräftiger oxydirend auf den Kohlenstoff ein als im letztern.

Der Schwefelgehalt des Eisens kann sowohl auf saurem als auf basischem Futter eine mässige Abnahme erfahren, theils durch Verbrennung [1]), theils durch Uebergang in die Schlacke, zumal wenn diese basisch und manganreich ist. Die Abscheidung pflegt jedoch nicht sehr erheblich zu sein, und die Anwendung eines ausreichend schwefelarmen Roheisens ist daher stets erforderlich.[2])

Die geschilderten Abweichungen sind in der Zusammensetzung des Eisens, der Schlacken und der Gase erkennbar. Zu ihrer deutlicheren Beleuchtung mögen als Beispiele in Folgendem einige bestimmte Fälle des Verlaufes näher geschildert werden.

Zusammensetzung des Eisens.

Bessemerverfahren mit saurem Futter.

1. Beispiel. Siliciumreiches Roheisen (2 bis 3 Hunderttheile Silicium), niedrige Anfangstemperatur. Der Verlauf

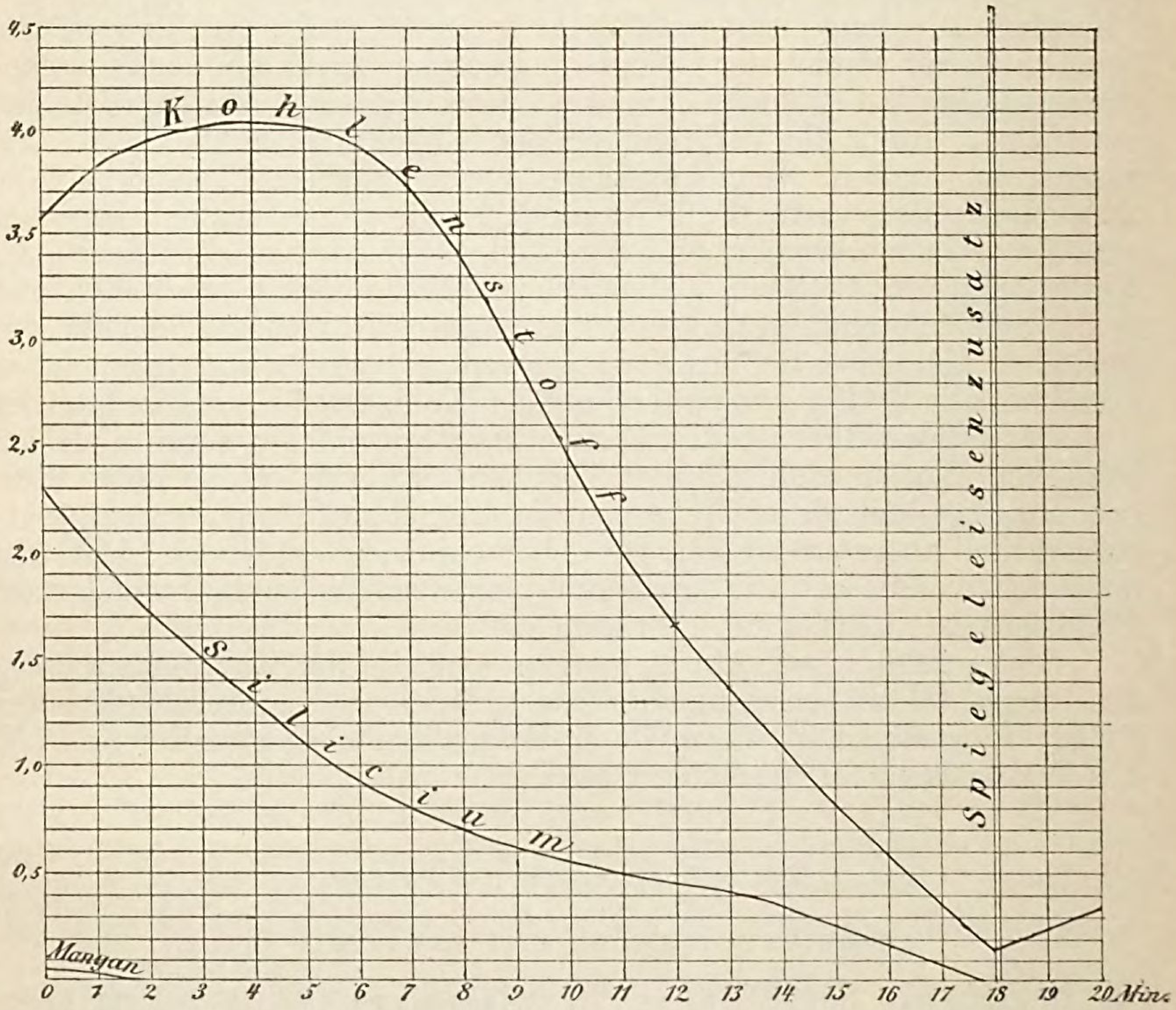
1) Niedt fand in den Gasen der Thomasbirne schweflige Säure. Zeitschr. d. oberschlesischen berg- und hüttenm. Ver. 1885, Seite 392.

2) Nach einer von Niedt gegebenen Zusammenstellung in dessen genannter Abhandlung werden beim basischen Verfahren 36 bis 91 Hunderttheile, im Mittel etwa zwei Drittel des im Roheisen vorhandenen Schwefelgehaltes abgeschieden. Beim sauren Verfahren ist die Schwefelabscheidung meistens geringer.

ist durch nachstehende Reihe von Analysen gekennzeichnet, welche durch E. Barker in den siebziger Jahren auf einem englischen Eisenwerke ausgeführt wurden.[1])

	Roheiseneinsatz	Nach 6 Minuten	Nach 12 Minuten	Bei Beendigung des Blasens vor Spiegeleisenzusatz	Nach Spiegeleisenzusatz 20 Minuten nach Beginn des Blasens
Kohlenstoff	3,57	3,94	1,64	0,19	0,37
Silicium	2,26	0,95	0,47	n. best.	n. best.
Mangan	0,04	Sp.	Sp.	Sp.	0,54
Schwefel	0,107	0,098	0,098	0,098	0,090
Phosphor	0,073	0,070	0,070	0,070	0,056

Fig. 289.



Stellt man die sich vollziehenden Veränderungen des Eisens durch Schaulinien dar, so ergiebt sich das Bild Fig. 289.

Anfänglich verbrennt nur Silicium und die geringe anwesende Menge Mangan; da das Gesammtgewicht des Metalls bei der Verbrennung dieser Körper, sowie eines Theils des Eisens abnimmt, erscheint der

1) Zeitschr. für Bauwesen, Jahrgang XXVI (1876), Seite 427.

Kohlenstoffgehalt, welcher vorläufig unbeeinflusst bleibt, nach Verlauf der ersten sechs Minuten höher als im Anfange. Jetzt aber ist die Temperatur beträchtlich gestiegen; die Kohlenstoffverbrennung beginnt und setzt sich bis zur Beendigung des Blasens fort.

Ganz ähnliche Ergebnisse erhielt Kessler bei zwei auf einem norddeutschen (nicht näher bezeichneten) Eisenwerke im Anfange der siebziger Jahre angestellten Untersuchungen.[1]) Die eine dieser Analysenreihen, welche durch einen erheblich höheren Mangangehalt des verarbeiteten Roheisens sich von der oben mitgetheilten unterscheidet, ist folgende:

	Roheiseneinsatz	In Zwischenpausen ohne Zeitangabe			Bei Beendigung des Blasens	Nach Spiegeleisenzusatz
Kohlenstoff	3,03	3,17	3,19	1,61	0,19	0,21
Silicium	2,41	1,26	0,27	0,03	0,01	0,16
Mangan	2,45	0,70	0,19	0,12	0,06	0,22
Schwefel	0,024	0,010	0,007	0,013	0,023	0,023
Phosphor	0,130	0,140	0,135	0,130	0,140	0,150

Beachtenswerth ist die Zunahme des Siliciumgehaltes nach Spiegeleisenzusatz. Silicium ist durch Mangan aus der Schlacke oder dem Birnenfutter reducirt worden. Die hohe Temperatur, welche das Bad durch die reichliche Verbrennung von Silicium erhalten hat, muss diese Reduction befördert haben, während aus derselben Ursache der Kohlenstoff des Zusatzes grossentheils durch den im Bade anwesenden Sauerstoff verbrannt wurde und die Kohlenstoffanreicherung nur unerheblich ist.

In beiden hier besprochenen Fällen ist der ursprüngliche Siliciumgehalt des Roheisens bei Beendigung des Blasens bis auf kleine Mengen verbrannt. Nicht selten bleiben 0,3 Hunderttheile Silicium oder noch mehr im Eisen zurück, wenn die Anfangstemperatur oder der Siliciumgehalt etwas höher war, oder wenn durch rascheres Blasen die Temperatur gesteigert und die Kohlenstoffverbrennung beschleunigt wurde.

2. Beispiel. Etwas weniger hoher Siliciumgehalt als in dem vorigen Beispiele (1,3 bis 2 Hunderttheile Silicium), hohe Anfangstemperatur. Nachstehende, von Müller auf dem Stahlwerk Osnabrück in den siebziger Jahren ausgeführte Untersuchungen[2]) zeigen den Verlauf in diesem Falle.

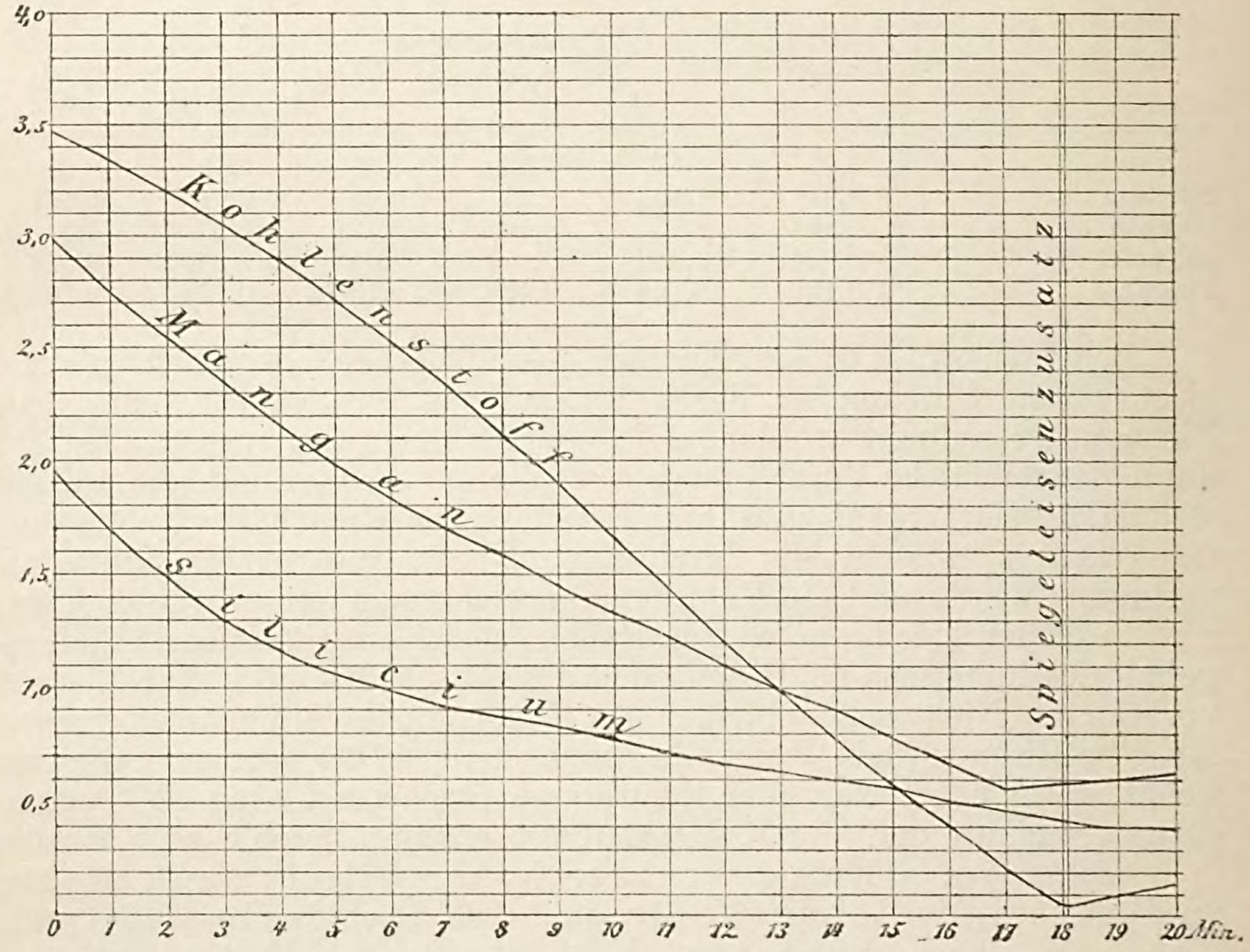
	Roheiseneinsatz	Nach 5 Minuten	Nach 10 Minuten	Nach 18 Minuten	Nach Spiegeleisenzusatz und 40 Sec. langem Blasen
Kohlenstoff	3,46	2,71	1,63	0,092	0,104
Silicium	1,93	1,07	0,79	0,532	0,346
Mangan	2,99	1,92	1,36	0,538	0,621

In der hohen Anfangstemperatur beginnt der Kohlenstoff sofort zu verbrennen; Fig. 290 zeigt den Verlauf in Schaulinien, durch die steil

1) Dinglers polyt. Journal, Band CCV, Seite 436.
2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, Seite 390.

abfallende Kohlenstofflinie und die flachere Siliciumlinie deutlich von der oben gegebenen Darstellung des Verlaufes bei minder hoher Anfangstemperatur und reicherem Siliciumgehalte unterschieden. Der Umstand, dass nach Spiegeleisenzusatz noch einige Zeit (40 Secunden) geblasen wurde, erklärt zur Genüge die Abnahme des Siliciumgehaltes auch während dieses Abschnitts. Dennoch ist der Siliciumgehalt des Fertigerzeugnisses noch ziemlich bedeutend; auch Mangan ist neben dem Silicium in noch ansehnlicher Menge zurückgeblieben, nachdem der Kohlenstoffgehalt schon grösstentheils verbrannt ist.

Fig. 290.



Ebenfalls von Müller[1]) wurde folgender Verlauf des Frischens auf der Gussstahlfabrik Bochum gefunden.

	Roheisen-einsatz	Nach 3 1/2 Minuten	Nach 6 1/2 Minuten	Nach 9 1/2 Minuten	Nach 11 1/4 Minuten	Nach Spiegel-eisen-zusatz
Kohlenstoff	3,87	2,98	1,75	0,30	0,07	0,42
Silicium	1,48	0,88	0,75	0,63	0,13	0,34
Mangan	1,76	1,01	0,94	0,73	0,26	1,06

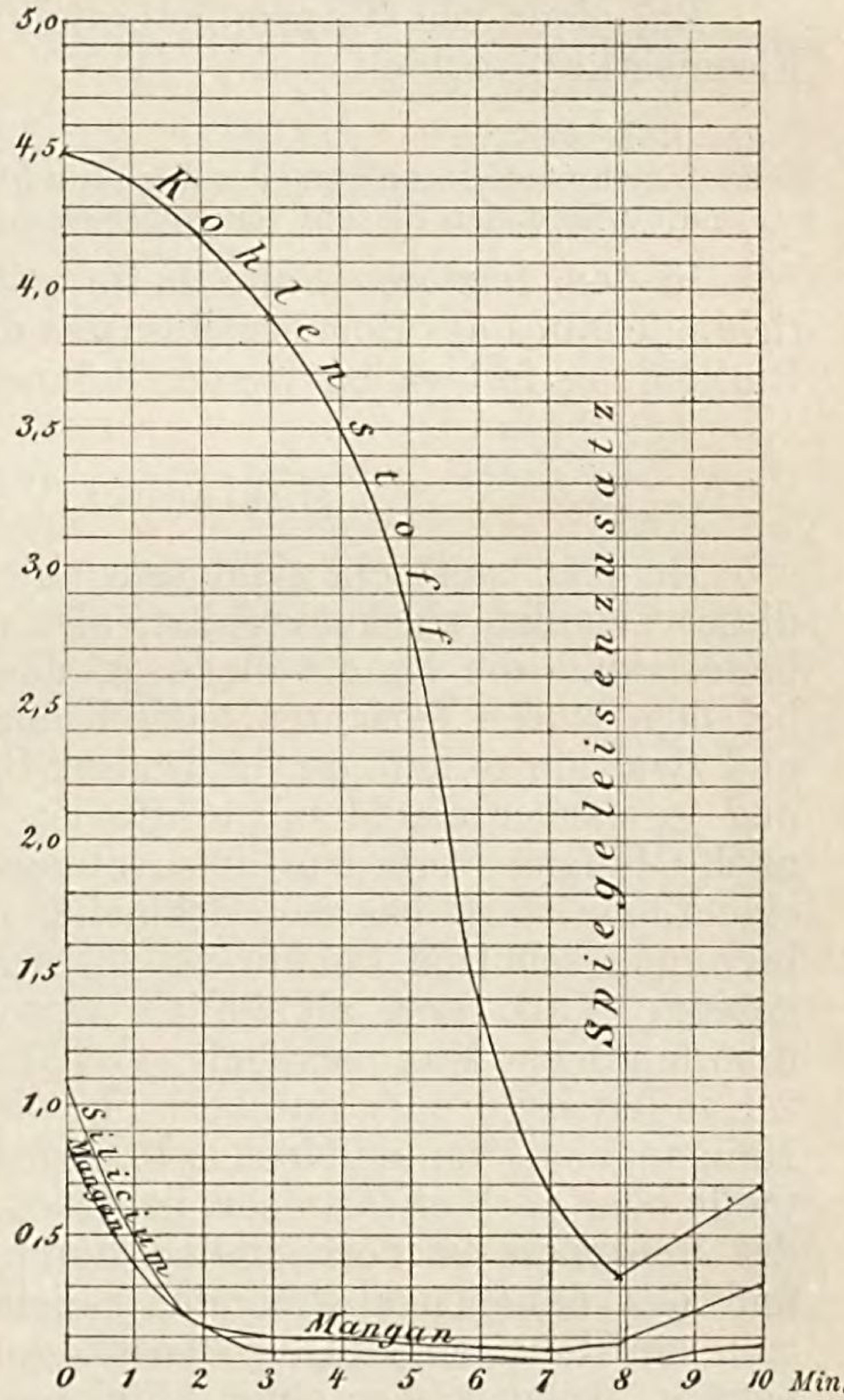
Hier ist der Siliciumgehalt noch geringer als in dem vorigen Beispiele; trotzdem bleibt auch hier nach der beinahe völligen Entkohlung

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, Seite 392.

Silicium im Eisen zurück und daneben Mangan. Da ein Nachblasen nach Spiegeleisenzusatz nicht stattfindet, zeigt sich, wie bei der oben mitgetheilten Untersuchung von Kessler, eine Anreicherung des Siliciumgehaltes durch die Einwirkung des zugesetzten Mangans auf das Birnenfutter. Eine Zeichnung des Verlaufes würde ganz ähnliche Schaulinien wie Fig. 290 ergeben.

3. Beispiel. Der Siliciumgehalt ist noch niedriger als bei dem vorigen Beispiele (0,6 bis 1,3 Hunderttheile), die Anfangstemperatur hoch, der Verlauf rasch. Das Verfahren in dieser Form entwickelte sich bald nach der Erfindung des Windfrischens zunächst in Schweden, wo die Verhältnisse nicht die Erzeugung eines so siliciumreichen Roheisens als in Grossbritannien ermöglichten; es ist auch in Nordamerika üblich geworden infolge des Umstandes, dass die Erzeugungskosten für siliciumärmeres Roheisen niedriger als für siliciumreicheres sind.

Fig. 291.



In jedem Falle beginnt sofort die Kohlenstoffverbrennung. Sind die Verhältnisse für die Erzielung einer hohen Temperatur günstig (starke Vorwärmung des Roheisens und der Birne, grosser Einsatz, rasches Blasen), so kann man bis zur Entkohlung blasen, und der Verlauf ist ähnlich, wie bei dem zweiten Beispiele, nur mit dem Unterschiede, dass weder Silicium noch Mangan in erheblichen Mengen zurückbleiben, wenn der Kohlenstoffgehalt verbrannt ist; bei weniger günstigen Temperaturverhältnissen muss das Blasen unterbrochen werden, wenn das Silicium verbrannt, der Kohlenstoff zum Theil noch unverbrannt ist, und man erhält auch ohne fernere Zuführung reicherer Kohlenstoffmengen Stahl.

Göransson und Magnuson fanden bei Untersuchung eines derartigen Verlaufes auf dem schwedischen Eisenwerke Sandviken im Jahre 1877 nachstehende Zusammensetzung der Eisenproben.[1])

1) Iron, vol. XIV, p. 3 (aus Jernkontorets Annaler). Verfasser der Abhandlung ist Tamm (vergl. Literatur).

	Roheisen-einsatz	Nach 3 Minuten	Nach 6 Minuten	Nach 8 Minuten	Nach Spiegel-eisen-zusatz
Kohlenstoff	4,49	3,87	1,30	0,33	0,70
Silicium	1,08	0,026	0,026	0,015	0,058
Mangan	0,832	0,108	0,090	0,075	0,324
Schwefel	0,020	0,015	0,010	0,010	0,015
Phosphor	0,017	0,018	0,016	0,016	0,018

Fig. 291 zeigt den Verlauf in Schaulinien.

Bei einer von Tamm angestellten Untersuchung auf demselben Eisenwerke[1]) enthielt

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor
das Roheisen	4,34	0,83	0,66	0,02
das Eisen nach Beendigung des nur etwa 5½ Minute währenden Blasens vor Spiegeleisenzusatz	0,06	0,04	0,06	0,02

In dem letzteren Falle hatte also trotz des noch niedrigeren Siliciumgehaltes des Roheiseneinsatzes das Blasen bis zur beinahe völligen Entkohlung fortgesetzt werden können.

Basisches Verfahren.

Da man stets ein nicht sehr siliciumreiches Roheisen benutzt und dieses ziemlich stark überhitzt, also mit hoher Anfangstemperatur arbeitet, sind die Unterschiede in dem Verlaufe nicht so deutlich als bei dem sauren Verfahren. Die Kohlenstoffverbrennung beginnt sofort, und zwar um so heftiger, je weniger Silicium und Mangan zugegen sind und je stärker das Metall erhitzt ist. Rasch verbrennt alles Silicium; auch Mangan verbrennt im Anfange in reichlichen Mengen. Eine eigentliche stark basische Schlacke, welche das Mangan vor der Verbrennung schützen könnte, ist im Anfange nicht zugegen, da der zugesetzte Kalk erst allmählich verschlackt wird. War jedoch der ursprüngliche Mangangehalt verhältnissmässig beträchtlich (1,5 bis 2 Hunderttheile oder darüber) und die Temperatur hoch, so pflegt ein Mangangehalt von mindestens 0,2 Hunderttheilen, bisweilen 0,5 Hunderttheile oder noch etwas mehr, im Eisen zurückzubleiben. Das Verhalten des Phosphors ist vornehmlich durch die Höhe des Phosphorgehaltes und des daneben anwesenden Siliciumgehaltes bedingt. Verarbeitet man ein Roheisen, dessen Phosphorgehalt weniger als 2 Hunderttheile beträgt, welches aber einen Siliciumgehalt von 0,5 Hunderttheilen oder darüber besitzt, so bleibt der Phosphorgehalt anfänglich unverändert oder nimmt auch wohl etwas zu, da die Menge des Metalls, in dem er vertheilt ist, geringer wird; ist der Phosphorgehalt beträchtlicher als 2 Hunderttheile und der Siliciumgehalt unbedeutend, so kann auch schon sofort in beschränktem Maasse die Phosphorverbrennung beginnen. In jedem Falle aber scheidet die Hauptmenge des Phosphors erst beim Nachblasen aus, nachdem der Kohlenstoffgehalt auf weniger als etwa 0,2 Hunderttheile sich verringert hatte.

Erwähnung verdient der mehrfach im Betriebe beobachtete Um-

1) Wie in der Fussanmerkung auf voriger Seite.

stand, dass nicht allein die schon gebildete flüssige Schlacke, sondern auch die Kalkstücke, ehe sie noch geschmolzen und von der Schlacke gelöst worden sind, Phosphorsäure aufnehmen können, welche von aussen her nach innen einwandert.

In jenem Zeitabschnitte des Nachblasens zeigt sich nicht selten ein eigenthümliches Verhalten des Mangans. Wenn nämlich der Phosphorgehalt des Eisens noch hoch und die inzwischen entstandene Schlacke manganreich ist, kann der Manganoxydulgehalt der Schlacke als Oxydationsmittel für Phosphor, also der Phosphorgehalt des Eisens als Reductionsmittel für Mangan dienen: $4\,CaO + 5\,MnO + 2\,P = 4\,CaO, P_2O_5 + 5\,Mn$. Der Mangangehalt des Eisens nimmt demnach für eine kurze Zeit, während der Phosphorgehalt rasch sich verringert, wieder zu[1]), um bei fortgesetztem Blasen dann ebenfalls wieder abzunehmen, sobald der grösste Theil des Phosphors verbrannt ist. Durch den am Schlusse gegebenen Eisenmangan- oder Spiegeleisenzusatz wird dann der Mangangehalt wieder angereichert; aber die in der sauren Birne durch diesen Zusatz häufig veranlasste Reduction von Silicium ist in der basischen Birne ausgeschlossen.

1. Beispiel. Roheisen mit verhältnissmässig niedrigem Phosphor- und verhältnissmässig hohem Siliciumgehalte. Die nachfolgend mitgetheilten Untersuchungen sind durch Finkener bald nach Einführung des basischen Verfahrens (1879) in Hörde angestellt worden.[2]) Der Einsatz bestand aus nur etwa 3,5 t Roheisen; zugesetzt wurden 220 kg Spiegeleisen und Eisenmangan.

	Roheiseneinsatz	Nach 5 Minuten	7½	9	12	13¼	13 11/12	14¼	Fertig geblasen	Nach Spiegeleisenzusatz
Kohlenstoff	3,12	2,51	1,73	1,19	0,07	0,03	0,08	—	0,07	0,20
Silicium	0,56	0,01	0,006	0,008	0,005	0,001	—	—	0,001	0,003
Mangan	0,41	0,18	0,19	0,21	0,11	0,07	0,10	0,07	0,06	0,31
Schwefel	0,41	0,44	0,43	0,42	0,47	0,46	0,24	0,21	0,20	0,15
Phosphor	1,398	1,442	1,400	1,354	1,069	0,524	0,132	0,066	0,046	0,067
Nickel	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,04	0,08	0,06
Kupfer	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06

Aus den schon früher besprochenen Gründen pflegt man in der Jetztzeit nicht mehr so phosphorarmes Roheisen zu verarbeiten; aber die Analysen sind lehrreich für Erkennung des chemischen Verlaufes

1) Dass Mangan durch Phosphor reducirt werden könne, wurde von Stead durch einen Versuch im Kleinen bestätigt. Er schmolz in einem mit Kalk ausgefutterten Tiegel 100 Theile Phosphoreisen mit 20 Theilen Manganoxyd und fand dabei folgende Zusammensetzung des Metalls:

	Vor dem Schmelzen Hunderttheile	Nach dem Schmelzen Hunderttheile
Eisen	87,50	86,20
Phosphor	12,38	10,10
Mangan	0,12	3,24

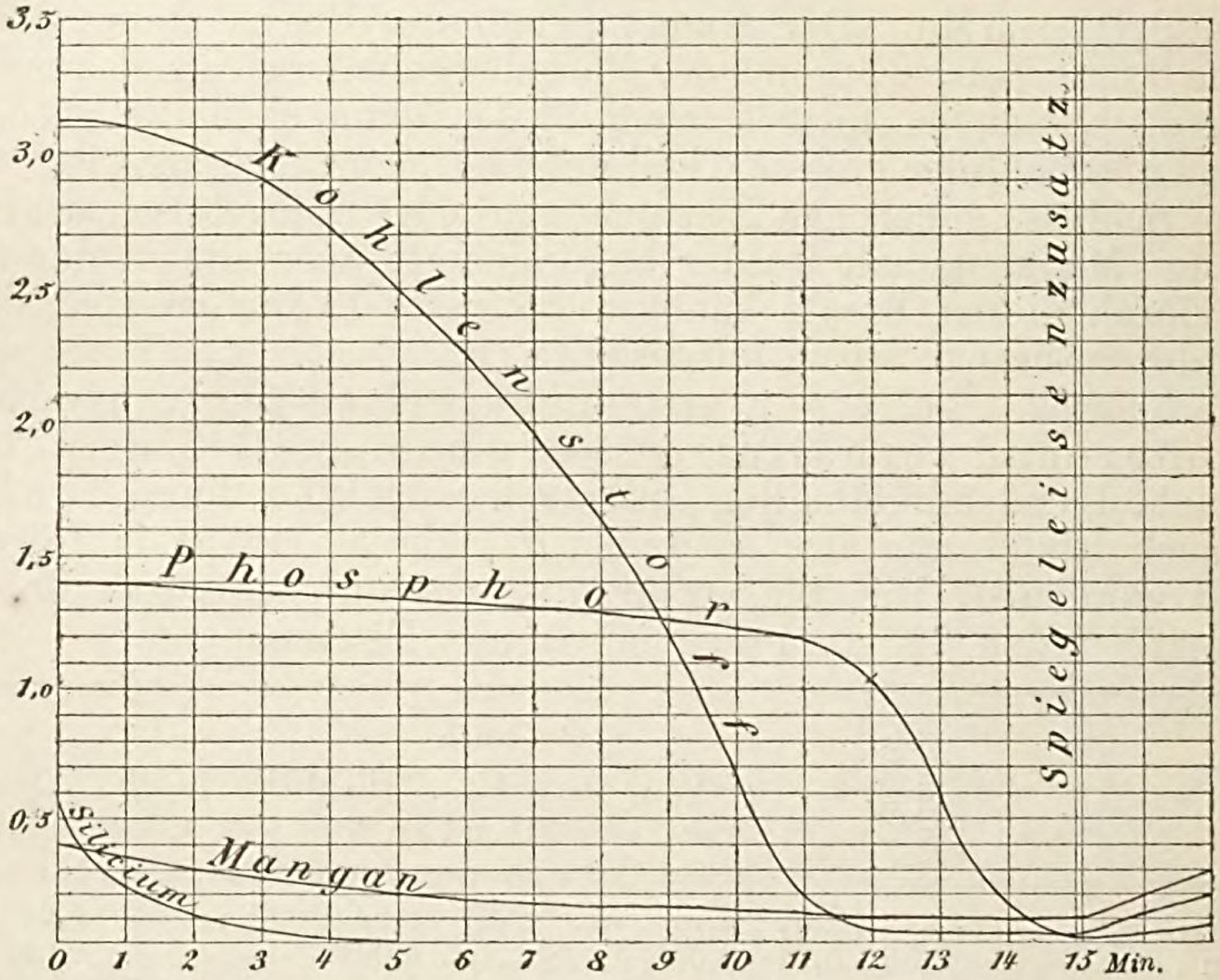
Die entstandene Schlacke enthielt 11,2 Hunderttheile Phosphorsäure, während das angewendete Manganoxyd nur 0,05 Hunderttheile enthalten hatte (The Journal of the Iron and Steel Institute 1893, I, p. 64).

2) Mittheilungen der Königl. techn. Versuchsanstalt zu Berlin 1883, Seite 31.

unter den gegebenen Verhältnissen. Auch das Verhalten des Schwefels tritt hier deutlicher als bei den meisten übrigen Untersuchungen zu Tage, infolge des Umstandes, dass der Schwefelgehalt des verarbeiteten Roheisens ungewöhnlich hoch war.

Von dem Schwefelgehalte des Roheisens werden demnach etwa drei Fünftel abgeschieden. Das Verhalten des Kohlenstoffs, Siliciums, Mangans und Phosphors ist durch die Schaulinien in Fig. 292 dargestellt.

Fig. 202.



2. *Beispiel.* Stark überhitztes Roheisen mit hohem Phosphor- und niedrigem Siliciumgehalte. Die Untersuchungen wurden durch Niedt bei der Thomashütte zu Peine im Jahre 1885 ausgeführt.[1]) Der Einsatz betrug 10 t Roheisen, der Zusatz von Eisenmangan und Spiegeleisen 90 kg, der Kalkzuschlag 1650 kg.

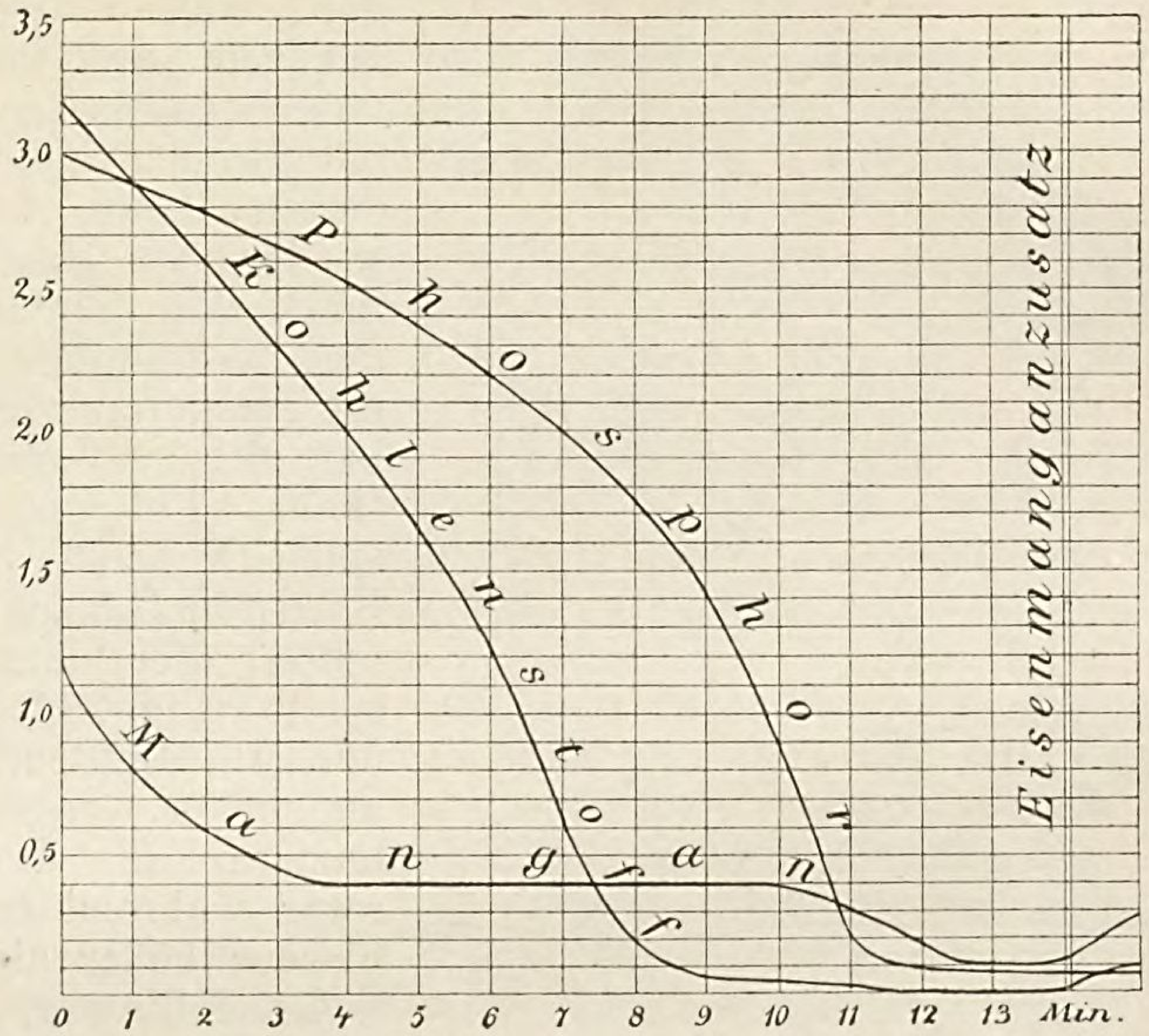
	Roheisen	Nach 4 Minuten	7	9	10	11	12¼	13¼	Nach Eisenmanganzusatz
Kohlenstoff . . .	3,163	1,983	0,755	0,046	0,045	0,018	0,018	0,018	0,07
Silicium	0,007	—	—	—	—	—	—	—	—
Mangan	1,19	0,40	0,40	0,40	0,40	0,32	0,14	0,11	0,28
Schwefel	0,052	0,065	0,077	0,050	0,070	0,048	0,041	0,046	0,038
Phosphor . . .	2,982	2,525	2,012	0,465	0,886	0,206	0,109	0,090	0,090

Deutlicher als die Ziffern selbst zeigen die in Fig. 293 verzeichneten Schaulinien die Unterschiede des Verlaufes im Vergleiche zu dem

1) Zeitschr. des oberschlesischen berg- und hüttenm. Vereins 1885, Seite 340.

vorher besprochenen Falle. Wegen der hohen Anfangstemperatur fällt die Kohlenstofflinie sofort steil ab; trotzdem verringert sich auch sofort der Phosphorgehalt, da das Eisen frei von Silicium ist.

Fig. 293.



3. Beispiel. Phosphor- und Siliciumgehalt ähnlich wie bei dem zweiten Beispiele, Mangangehalt etwas niedriger. Die Untersuchungen betreffen einen im Jahre 1888 bei der Peiner Thomashütte verarbeiteten Einsatz und sind im Laboratorium des Eisenwerkes ausgeführt.[1]) Der Einsatz betrug 10 t, der Eisenmanganzusatz 40 kg, Kalkzuschlag 1300 kg. Der Siliciumgehalt des Eisens wurde nicht bestimmt, war aber nicht erheblich.

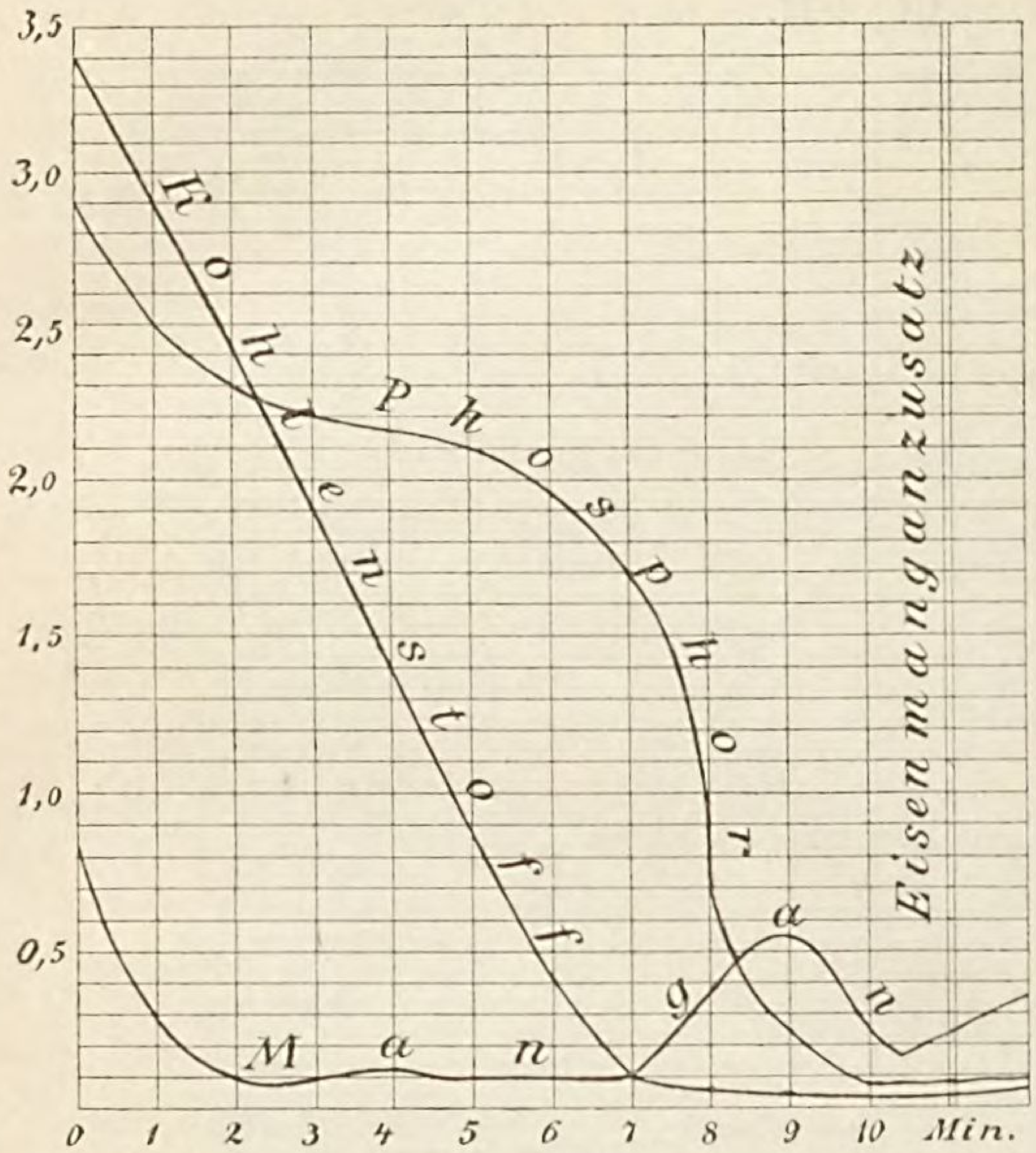
	Roheisen	Nach 2 Minuten	4	7	8	9	10	10¼	Nach Eisenmanganzusatz
Kohlenstoff . . .	3,40	2,40	1,42	0,12	0,06	0,03	0,03	0,02	0,06
Mangan	0,81	0,10	0,13	0,10	0,36	0,52	0,22	0,18	0,35
Phosphor . . .	2,92	2,30	2,15	1,70	0,99	0,25	0,07	0,07	0,07

Das in Fig. 294 gezeichnete Schaubild ist dem des vorigen Beispieles ähnlich, unterscheidet sich aber wesentlich davon durch das Ansteigen der Manganlinie während der Phosphorverbrennung nach dem Ausscheiden des Kohlenstoffs. Auch die Phosphorlinie zeigt bei Fig. 294 eine etwas andere, den Zweck des Nachblasens noch deutlicher veranschaulichende Form.

1) Nach persönlicher Mittheilung.

Jenes in Fig. 294 erkennbare Verhalten des Mangans während des Nachblasens zeigt sich nicht selten auch bei Verarbeitung noch manganärmeren Roheisens. Es kommt vor, dass von 0,50 Hunderttheilen Mangan, welche ursprünglich zugegen waren und im Anfange des Blasens sich auf 0,10 Hunderttheile abminderten, beim Nachblasen wieder 0,35 Hunderttheile im Metalle gefunden werden. Vermuthlich spielen die Temperaturverhältnisse bei diesem Vorgang eine Rolle. Bei dem 2. Beispiele (Fig. 293) währte das Blasen im Ganzen 13¼ Minuten, bei dem 3. Beispiele (Fig. 294) dagegen nur 10¼ Minuten. Man darf annehmen, dass in dem letztern Falle die Temperatur während des Nachblasens höher als in dem andern Falle war. Im Uebrigen lässt sich vermuthen, dass bei derartigen Untersuchungen das Wiedereintreten des Mangans in das Eisen mitunter auch übersehen wird, wenn man versäumt, gerade in dem richtigen Augenblicke eine Probe zu nehmen.

Fig. 294.



Zusammensetzung der Schlacken.

Die Schlacken sowohl des sauren als des basischen Verfahrens sind stets erheblich ärmer an Eisen als die bei den Verfahren der Schweisseisenerzeugung erfolgenden Schlacken. In der höheren Temperatur der Bessemer- und Thomasbirne ist das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff bedeutend gesteigert. Während daher bei den Verfahren der Schweisseisendarstellung aus Roheisen vorwiegend das Eisenoxyd Fe_2O_3 als Oxydationsmittel für Kohlenstoff diente, wird hier auch das entstehende Eisenoxydul durch den Kohlenstoffgehalt zerlegt; aus dem Futter der Birnen und dem beim basischen Verfahren gegebenen Zuschlage aber werden fremde Körper in die Schlacken aufgenommen, welche ihren Eisengehalt verdünnen. Der Umstand, dass trotzdem die Entkohlung rasch sich vollzieht, findet eben in der hohen Temperatur seine nahe liegende Begründung. Gewöhnlich steigt der Eisengehalt der Schlacken um so mehr, je mehr der Kohlenstoffgehalt abnimmt; Ausnahmen finden statt, wenn etwa bei hoher Endtemperatur in der Birne das Birnenfutter stark angegriffen und die Schlackenmenge dadurch übermässig vermehrt wurde. Ein hoher Mangangehalt des

Roheisens erniedrigt, da er annähernd vollständig in die Schlacke übergeht und die Schlackenmenge vermehrt, auch das Eisen selbst vor starker Verbrennung schützt, den Eisengehalt der Schlacke; der Einfluss tritt deutlicher beim sauren als beim basischen Verfahren zu Tage, weil bei letzterem die entstehende Schlackenmenge ohnehin bedeutend reichlicher ist.

Ueber diese Einflüsse und über die Veränderungen, welche die Zusammensetzung der Schlacken während des Verlaufes selbst erfährt, mögen einige Beispiele Auskunft geben.

Bessemerverfahren mit saurem Futter.

Aus dem Siliciumgehalte des Roheisens und aus dem Birnenfutter gehen stets reichliche Mengen von Kieselsäure in die Schlacke über. Eisen kann nur als Oxydul in der Schlacke zugegen sein. Die geringe Beständigkeit des Eisenoxydes in hoher Temperatur und die Eigenschaft des Eisenoxyduls als stärkere Base macht die Anwesenheit von Eisenoxyd in der kieselsäurereichen Schlacke unmöglich (Seite 252).

Je höher die Temperatur in der Birne war, desto reicher an Kieselsäure und desto ärmer an Eisen ist unter übrigens gleichen Verhältnissen die Schlacke. In der höheren Temperatur wird mehr Kieselsäure aus dem Birnenfutter aufgenommen und mehr Eisen durch den Kohlenstoffgehalt des Eisens reducirt. War die Temperatur schon von Anfang an hoch, so wird überhaupt weniger Eisen verbrannt; der Kohlenstoff verbrennt von vornherein rascher und schützt das Eisen.

1. Beispiel. Bei der, einen Zeitraum von 48 Minuten umfassenden, also sehr langsam verlaufenden, Verarbeitung eines Einsatzes mit 3,93 Hunderttheilen Kohlenstoff, 1,96 Hunderttheilen Silicium, 3,46 Hunderttheilen Mangan auf dem Eisenwerke Neuberg im Jahre 1866 besassen die Schlacken nachstehende Zusammensetzung.[1])

	Nach 28 Minuten	Nach 35 Minuten	Nach 38 Minuten	Spiegeleisenzusatz
Kieselsäure	46,78	51,75	46,75	47,25
Thonerde	4,65	2,98	2,80	3,45
Eisenoxydul	6,78	5,50	16,86	15,43
Manganoxydul	37,00	37,90	32,23	31,89
Kalkerde, Magnesia	4,51	2,11	1,71	1,84
Zusammensetzung des Eisens.				
Kohlenstoff	2,64	0,95	0,09	0,23
Silicium	0,44	0,11	0,03	0,03
Mangan	1,64	0,43	0,11	0,14

Die lange Zeitdauer des Blasens lässt vermuthen, dass eine hohe Temperatur in der Birne trotz des ziemlich hohen Siliciumgehaltes im

1) Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1867, Nr. 23; Dinglers polyt. Journal, Band CLXXXV, Seite 30. Die Analysen wurden im General-Münzprobiramte in Wien ausgeführt.

Roheisen nicht aufkommen konnte; der trotz des hohen Mangangehaltes des Roheisens verhältnissmässig reichliche Eisengehalt der Endschlacken giebt die Bestätigung hierfür.

2. Beispiel. Schlacken bei Verarbeitung eines verhältnissmässig siliciumarmen, aber stark überhitzten Roheisens unter raschem Blasen auf dem Eisenwerke Sandviken im Jahre 1877. Untersuchungen von Göransson und Magnuson. Die Zusammensetzung der zugehörigen Eisenproben ist auf Seite 927 mitgetheilt. Die nach Spiegeleisenzusatz gebildete Endschlacke wurde nicht untersucht.

	Nach 3 Minuten	Nach 6 Minuten	Nach 8 Minuten
Kieselsäure . . .	53,44	57,80	55,76
Thonerde . . .	1,84	1,94	1,58
Eisenoxydul . . .	20,24	17,04	18,48
Manganoxydul . .	23,90	22,80	22,23
Erden	0,44	0,46	0,39

Der Eisengehalt ist hier noch beträchtlicher als in den Schlacken des vorigen Beispieles, aber auch der Kieselsäuregehalt ist höher. Das verwendete Roheisen war bedeutend ärmer an Mangan, die Gesammtmenge der entstehenden Schlacke war daher geringer, und aus diesem Grunde erscheint der Eisengehalt höher. Die höchste Temperatur ist bei der Entnahme der zweiten Probe erreicht, der Kieselsäuregehalt ist hier am höchsten, der Eisenoxydulgehalt am wenigsten hoch. Bei der Fortsetzung des Blasens wird wieder Eisen verbrannt, der Eisenoxydulgehalt steigt und der Kieselsäuregehalt nimmt ab.

3. Beispiel. Deutlicher als bei den bisher besprochenen Beispielen lässt sich der oben geschilderte Einfluss der Temperatur auf die Zusammensetzung der Schlacken erkennen, wenn man die Zusammensetzung der bei Verarbeitung gleicher Einsätze, das eine Mal bei heissem, das andere Mal bei kaltem Gange, entstandenen Schlacken vergleicht. Die Schlacken, deren Zusammensetzung nachstehend mitgetheilt ist, erfolgten bei Verarbeitung ziemlich manganreicher Einsätze auf einem mitteldeutschen Werke und wurden von mir untersucht. Die bei heissem Gange entstandenen Schlacken waren olivengrün, die bei kaltem Gange entstandenen grünlichbraun.

	Vor dem Spiegeleisenzusatz genommene Proben		Endschlacken nach dem Spiegeleisenzusatz	
	Heisser Gang	Kalter Gang	Heisser Gang	Kalter Gang
Kieselsäure	50,85	49,45	53,95	49,05
Thonerde	3,15	1,30	2,31	2,30
Eisenoxydul	4,13	9,59	5,54	6,55
Manganoxydul	40,68	38,23	35,14	40,27
Kalkerde	n. best.	n. best.	2,32	n. best.
Magnesia	„	„	Sp.	„

Basisches Verfahren.

Schwieriger als bei dem sauren Verfahren ist es bei dem basischen, Schlackenproben von durchschnittlich richtiger Zusammensetzung während des Blasens zu bekommen, da der reichlich zugeschlagene Kalk erst allmählich wirklich verschlackt wird, der gebildeten Schlacke aber grossentheils mechanisch in grösseren oder kleineren Stücken eingemengt bleibt. Dieses Verhalten des Kalkes erklärt es auch, dass die wirklich gebildete Schlacke anfänglich verhältnissmässig reich ist an Kieselsäure. Erst nach und nach wird mehr Kalk verschlackt; aber gleichzeitig beginnt dann die Bildung und Verschlackung der Phosphorsäure, die Schlackenmenge wird grösser, und so kommt es, dass zwar der Kieselsäuregehalt der Schlacke immer geringer wird, der Kalkerdegehalt aber trotz der fortschreitenden Verschlackung des Kalkes keine beträchtliche Anreicherung, bisweilen sogar eine Abnahme erfährt.

Da beim Nachblasen neben dem Phosphor auch Eisen verschlackt wird, steigt der Eisengehalt gegen Ende des Blasens gewöhnlich ziemlich beträchtlich und erscheint um so höher, je sparsamer der Kalkzuschlag bemessen wurde, je geringer demnach die entstehende Schlackenmenge war. In der erkalteten Schlacke findet man neben Eisenoxydul stets Eisenoxyd; ob dieses auch schon in der flüssigen Schlacke vorhanden war oder erst beim Erkalten sich bildete, ist bislang nicht nachgewiesen worden.

Der Schwefelgehalt ist in den basischen Schlacken durchschnittlich grösser als in den sauren, in welchen er überhaupt nur in Mengen von weniger als 0,1 Hunderttheil aufzutreten pflegt. Er stammt theils aus dem Zuschlagskalk, theils auch aus dem Roheisen, und er nimmt daher gegen Ende des Blasens zu. Besonders pflegt nach dem Zusatze von Mangan zum entkohlten Eisen eine Ueberführung von Schwefel in die Schlacke erkennbar zu sein.[1]) In der frischen Thomasschlacke ist der Schwefel grösstentheils als Sulfid (Schwefelcalcium oder Schwefelmangan) zugegen und entweicht beim Zerlegen der Schlacke durch Salzsäure als Schwefelwasserstoff. Sulfate können in der hohen Temperatur der Thomasbirne nicht lange bestehen. Lagert die basische Schlacke aber einige Zeit an der Luft, so findet theilweise Zersetzung statt (Seite 175), und bei der Untersuchung findet man nunmehr auch Schwefelsäure neben den Sulfiden.[2])

1. Beispiel. Bei der Verarbeitung eines ausnahmsweise siliciumreichen Roheisens (Silicium = 1,22, Phosphor = 2,18, Mangan = 1,03 Hunderttheile) auf den Rheinischen Stahlwerken im Jahre 1879, also sehr bald nach Einführung des Verfahrens, ermittelte Finkener nachstehende Zusammensetzung der Schlacken in den verschiedenen Zeitabschnitten.[3])

1) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 457.

2) Calciumsulfat, für sich allein erhitzt, wird in Weissgluth vollständig zerlegt (Zeitschr. für anal. Chemie, Band VII, Seite 244); auch metallisches Eisen zerlegt Calciumsulfat unter Bildung von Schwefeleisen. Einiges Nähere hierüber: „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 50 und 51 (Hilgenstock).

3) Mittheilungen der Königl. techn. Versuchsanstalt zu Berlin 1883, Seite 31.

	Nach $2\frac{46}{60}$ Minuten	$5\frac{21}{60}$	$8\frac{5}{60}$	$10\frac{45}{60}$	$13\frac{28}{60}$	$15\frac{13}{60}$	$19\frac{14}{60}$	$19\frac{49}{60}$	Nach Spiegel-eisenzusatz
Kieselsäure	41,15	36,30	34,41	31,94	16,64	14,65	12,94	11,71	12,77
Phosphorsäure	0,84	3,12	2,99	4,02	7,15	11,60	18,83	18,15	16,92
Thonerde	1,12	1,30	1,08	1,00	1,29	1,35	1,07	1,01	1,12
Eisenoxyd	—	0,46	0,13	0,74	4,95	3,84	3,74	2,78	2,87
Eisenoxydul	2,40	3,97	3,60	4,23	8,42	7,15	5,84	7,19	5,94
Manganoxydul	9,03	11,02	10,72	9,94	8,51	7,39	4,25	4,05	4,80
Kalkerde	41,27	39,50	42,80	43,12	44,37	46,63	47,76	48,19	47,87
Magnesia	4,13	3,39	3,35	4,01	7,34	6,34	6,00	6,38	6,75
Schwefel	0,25	0,10	0,13	0,05	0,13	0,12	0,07	0,09	0,05
Schwefelsäure	0,06	0,05	0,09	0,05	0,12	0,15	0,07	0,05	0,13
Die dazu gehörigen Eisenproben enthielten:									
Silicium	0,72	0,15	—	—	—	—	—	—	0,01
Phosphor	2,15	0,22	2,16	2,10	2,05	1,91	0,23	0,09	0,14
Mangan	0,71	0,05	0,18	0,16	0,14	0,01	0,01	—	0,48

2. *Beispiel.* Bei der Verarbeitung eines siliciumarmen Einsatzes, dessen Veränderungen auf Seite 930 mitgetheilt und in Fig. 293 durch Schaulinien dargestellt wurden, fand Niedt folgende Zusammensetzung der miterfolgenden Schlacken.

	Nach 10 Minuten	Nach $12\frac{1}{4}$ Minuten	Eisenmanganzusatz
Kieselsäure	6,14	5,90	4,42
Phosphorsäure	29,23	21,16	18,25
Thonerde	n. best.	4,06	n. best.
Eisenoxyd	4,51	3,66	5,66
Eisenoxydul	5,19	13,64	19,46
Manganoxydul	4,80	4,34	4,29
Kalkerde	45,49	44,16	41,73
Magnesia	2,21	2,46	3,02
Schwefel	0,06	0,10	0,11

Recht beträchtlich ist hier der Phosphorsäuregehalt der zuerst gewonnenen Schlackenprobe. Um nicht in Widerspruch mit der in der Fussanmerkung auf Seite 914 gegebenen Regel für das erforderliche Verhältniss zwischen Kalkerde, Phosphorsäure und Kieselsäure zu gerathen, muss man annehmen, dass die anwesende Kieselsäure durch die übrigen Basen (Magnesia, Manganoxydul, Eisenoxydul) hinlänglich unschädlich gemacht sei, um die Einwirkung aller vorhandenen Kalkerde auf die Phosphorsäure zu ermöglichen.

Einige fernere Beispiele von Endschlacken des Thomasverfahrens werden unten (Erzeugnisse des Verfahrens) gegeben werden.

Zusammensetzung der Gase.

Auch in der wechselnden Zusammensetzung der aus der Birne entweichenden Gase spiegelt sich der Verlauf des Frischens; manche

Einzelvorgänge lassen sich überhaupt erst deutlich wahrnehmen, wenn man auch die Zusammensetzung der Gase in's Auge fasst.

Durch die Windöffnungen der Birne wird atmosphärische Luft in das Eisen geblasen, bestehend aus 79 Raumtheilen Stickstoff und 21 Raumtheilen Sauerstoff, oder auf 100 Raumtheile Stickstoff 26,5 Raumtheile Sauerstoff enthaltend. Der Stickstoff geht unverändert durch das Eisen hindurch; der Sauerstoffgehalt wird vollständig oder zum grossen Theile zur Verbrennung von Silicium, Mangan, Eisen, Kohlenstoff und — beim basischen Verfahren — Phosphor verbraucht. Verbrennt Kohlenstoff, so finden sich seine Verbrennungsgebilde, Kohlenoxyd oder Kohlensäure, in den entweichenden Gasen neben dem Stickstoff wieder; ein Raumtheil Kohlensäure enthält die gleiche Raummenge Sauerstoff, ein Raumtheil Kohlenoxyd die Hälfte. Die Verbrennungserzeugnisse aller übrigen Körper bleiben in der Birne zurück.

Kohlensäure neben Kohlenoxyd findet sich vornehmlich dann, wenn auch freier Sauerstoff unverzehrt durch das Metall hindurchging. Der Fall kommt vor, wenn die Temperatur des Eisens niedrig, oder wenn die Höhe der Metallsäule, welche der Wind zu durchdringen hatte, verhältnissmässig gering war; insbesondere auch dann, wenn man zu thunlichster Beschleunigung des Frischens sehr reichliche Windmengen in das Bad führte, also bei der Arbeit mit siliciumarmem Eisen sowohl in der sauren als basischen Birne. Es ist hier nicht immer möglich, die Windzuführung so genau zu regeln, dass nicht ein Sauerstoffüberschuss vorhanden wäre. Steigt nun in diesen Fällen die Temperatur während des Frischens, so wächst auch das Vereinigungsbestreben der Körper zum Sauerstoff. Die Menge des in den Gasen gebliebenen freien Sauerstoffs nimmt ab, ebenso das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd. Dass schon innerhalb des Metalls Kohlensäure entstehen kann, ist nicht wahrscheinlich; trifft aber gebildetes Kohlenoxyd in der Birne oberhalb des Metalls mit unverzehrt gebliebenem Sauerstoff zusammen, so ist die Gelegenheit zur Kohlensäurebildung gegeben, und die Zusammensetzung einer gewonnenen Gasprobe lässt erkennen, in welchem Maasse dieser Gelegenheit Folge gegeben wurde.

Der Gebläsewind enthält aber, wie alle uns umgebende Luft, stets Feuchtigkeit. Durch das flüssige Metall wird der Wasserdampf mehr oder minder vollständig zerlegt; den Beweis dafür erhält man durch den Wasserstoffgehalt der Birnengase. Zwei Raumtheile dieses Wasserstoffs entsprechen einem Raumtheil Sauerstoff, welcher an Kohle gebunden oder in der Schlacke enthalten ist.

Aus dem Stickstoffe und Wasserstoffgehalte der Birnengase lässt sich demnach berechnen, wieviel Sauerstoff dem Eisen zugeführt wurde. Enthalten die entweichenden Gase weniger Sauerstoff, so wurde Eisen, Mangan, Silicium oder Phosphor verbrannt; sind die Gase aber sauerstoffreicher, so wurde aus der zuvor gebildeten Schlacke Eisen durch Kohle wieder reducirt. Der Fall kommt vor, wenn die Temperatur während des Frischens bedeutend zunimmt.

1. Beispiel. Verarbeitung eines siliciumreichen Einsatzes mit niedriger Anfangstemperatur (wie in Beispiel 1 auf Seite 924). Durch Snelus untersucht.[1]) Die Ziffern geben die Raummengen der Gase an.

1) The Journal of the Iron and Steel Institute 1871, p. 247.

	Nach 2	4	6	10	12	14
	Minuten					
Sauerstoff	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kohlensäure . . .	9,12	8,57	8,05	3,58	2,38	1,34
Kohlenoxyd . . .	0,06	3,95	4,58	19,59	29,44	31,11
Wasserstoff	0,00	0,88	2,00	2,00	2,16	2,00
Stickstoff	90,31	86,58	85,37	74,83	66,02	65,55

Wendet man die oben erörterte Berechnungsweise für die Ermittelung des Sauerstoffgehaltes an, welcher in den einzelnen Zeitabschnitten im Bade zurückblieb, so ergiebt sich beispielsweise:

Nach 2 Minuten wurde dem Bade Sauerstoff zugeführt:

durch 90,31 Raumtheile Stickstoff $\frac{90{,}31}{100}$ 26,5 = . . 23,93 Raumtheile
„ 0,00 „ Wasserstoff 0,00 „
23,93 Raumtheile

Die Gase enthielten:
freien Sauerstoff 0,51 Raumtheile
in 9,12 Raumtheilen Kohlensäure . 9,12 „
„ 0,06 „ Kohlenoxyd . 0,03 „ 9,66 „
mithin zur Verbrennung von Silicium, Mangan und Eisen verbraucht 14,27 Raumtheile

Dagegen wurde nach 10 Minuten dem Bade Sauerstoff zugeführt:

durch 74,83 Raumtheile Stickstoff $\frac{74{,}8}{100}$ 26,5 = . . 19,8 „
„ 2,00 „ Wasserstoff 1,0 „
20,80 Raumtheile

Die Gase enthielten:
in 3,58 Raumtheilen Kohlensäure . 3,58 Raumtheile
„ 19,59 „ Kohlenoxyd . 9,79 „ 13,37 „
mithin zur Verbrennung von Silicium, Mangan und Eisen verbraucht 7,43 Raumtheile
u. s. f.

2. Beispiel. Verarbeitung eines Einsatzes mit 4,07 Hunderttheilen Kohlenstoff, 1,39 Hunderttheilen Silicium, 4,66 Hunderttheilen Mangan auf dem schwedischen Werke Westanfors. Untersuchungen von Tamm.[1])

	Nach 3—5	9—10	21—23	26—27
	Minuten			
Sauerstoff	4,76	1,69	0,96	0,55
Kohlensäure . . .	9,12	5,99	4,85	1,85
Kohlenoxyd . . .	0,00	17,55	19,32	14,31
Wasserstoff	0,00	0,91	1,12	1,70
Stickstoff	86,11	73,84	73,73	81,58

1) Vergleiche Literatur.

Der Verlauf des Frischens war in diesem Falle sehr langsam, wie die Zeiträume, innerhalb derer die Proben genommen wurden, erkennen lassen. Wenn trotzdem ununterbrochen freier Sauerstoff durch das Eisenbad hindurchgeht, so lässt dieser Umstand auf eine geringe Höhe des Eisenbades in der Birne oder auf eine ungenügende Vertheilung des Windes, zugleich aber auch auf ziemlich niedrige Temperatur des Metalls schliessen. Im Uebrigen zeigt sich, wie bei der Analysenreihe von Snelus, eine stete Abnahme des Kohlensäuregehaltes, je weiter das Frischen fortschreitet. Ein Theil des eingeblasenen Sauerstoffs wird, wie die Berechnung leicht ergiebt, in allen Zeitabschnitten zur Bildung nichtflüchtiger Oxyde verbraucht; am geringsten ist diese Menge während der zweiten Probenahme, am bedeutendsten während der vierten.

3. Beispiel. Verarbeitung des in Beispiel 3 auf Seite 927 erwähnten Einsatzes mit 4,34 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,83 Hunderttheilen Silicium, 0,66 Hunderttheilen Mangan bei hoher Anfangstemperatur und raschem Blasen. Untersuchungen von Tamm.[1])

	Nach $2^3/_4$—$3^3/_4$ Minuten	Nach $4^1/_4$—$5^1/_4$ Minuten
Sauerstoff	0,12	0,18
Kohlensäure	4,87	3,62
Kohlenoxyd	28,94	23,27
Wasserstoff	1,68	0,72
Stickstoff	64,39	72,21

Der Umstand, dass trotz des sehr raschen Verlaufes des Frischens (im Ganzen nur $5^1/_2$ Minuten) der Sauerstoffgehalt unbedeutend ist, findet in der hohen Anfangstemperatur genügende Begründung. Nach etwa 3 Minuten vom Beginne des Blasens an hat die Temperatur offenbar ihren höchsten Stand erreicht. Es beträgt nämlich nach $2^3/_4$—$3^1/_4$ Minuten die Menge des zugeführten Sauerstoffs:

durch 64,39 Raumtheile Stickstoff $\frac{64,39}{100}$ 26,5 . . . 17,06 Raumtheile
„ 1,68 „ Wasserstoff 0,84 „
17,90 Raumtheile

Die Gase enthielten:

freien Sauerstoff 0,12
in 4,87 Raumtheilen Kohlensäure 4,87
„ 28,94 „ Kohlenoxyd 14,47
19,46 „

Die Gase enthielten mehr Sauerstoff als durch den Gebläsewind zugeführt wurde; d. h. also: ein Theil des in den ersten 2 Minuten oxydirten Eisens wurde jetzt wieder durch den Kohlenstoffgehalt reducirt, nachdem durch die Verbrennung des anwesenden Siliciumgehaltes die Temperatur des Eisenbades um etwa 200 Grade gesteigert worden war. Gegen Ende des Frischens, wo die zweite Gasprobe genommen wurde, ergiebt dagegen eine gleiche Rechnung, dass die Gase weniger

1) Vergleiche Literatur.

Sauerstoff enthielten, als dem Bade zugeführt wurde; der Kohlenstoff war seiner grössten Menge nach verbrannt (das fertige Eisen enthielt nur 0,06 Hunderttheile, wie früher mitgetheilt wurde). Jetzt wurde wieder Eisen oxydirt und verschlackt. In der That ergab die Untersuchung der Endschlacke den hohen Eisenoxydulgehalt von 33,44 Hunderttheilen neben 18,28 Hunderttheilen Mangan, 45,04 Hunderttheilen Kieselsäure, 2,46 Hunderttheilen Thonerde und Kalk.

f) Die Betriebsergebnisse.

Der Brennstoffverbrauch in den Kupolöfen zum Schmelzen des Roheisens entspricht den auf Seite 620 gemachten Angaben. Man erspart diesen Brennstoff bei Verarbeitung des Roheisens unmittelbar aus dem Hochofen.

Der Abbrand (Abgang) beim Windfrischen ist theils von der chemischen Zusammensetzung des Roheisens und des Erzeugnisses, theils von der Art des Verfahrens abhängig. Ein Theil des Abganges entsteht durch den mechanischen Verlust beim Herausschleudern von Eisenkörnchen während der Kochperiode. Ist das Verhältniss des Rauminhaltes der Birne zum flüssigen Metalle knapp bemessen, so ist er grösser als im andern Falle. Je grösser der Gehalt des Roheisens an auszuscheidenden Fremdkörpern (Silicium, Mangan, Kohlenstoff, Phosphor) ist, desto höher muss der Abgang ausfallen; verarbeitet man in der sauren Birne ein Roheisen mit nur 1 Hunderttheil Silicium und 0,8 Hunderttheilen Mangan, so muss man ein günstigeres Ausbringen (geringeren Abgang) erhalten, als bei einem Roheisen mit 2,5 Hunderttheilen Silicium und 2 oder mehr Hunderttheilen Mangan. Schmelzt man das Roheisen vor der Verarbeitung im Kupolofen, so entsteht schon hierbei ein Abgang (Seite 620), und der Gesammtverlust ist etwas beträchtlicher als bei der Arbeit unmittelbar aus dem Hochofen. Bläst man aber bis annähernd zur völligen Entkohlung oder noch länger (basisches Verfahren), so wird mehr Eisen verbrannt und der Abgang ist grösser, als wenn die Eigenthümlichkeiten des Verfahrens eine vorzeitige Unterbrechung des Blasens ermöglichen. Bei dem sauren Verfahren beziffert sich der Abgang durchschnittlich auf 12 Hunderttheile, so dass das Ausbringen an Gussblöcken 88 Hunderttheile des Roheisengewichtes beträgt. Der Abgang steigt aber in einzelnen Fällen bis auf 16 und fällt in anderen bis auf 8 Hunderttheile.[1]) Beim basischen Verfahren ist der Abgang wegen des erforderlichen Nachblasens etwas beträchtlicher und beträgt durchschnittlich 15 Hunderttheile, also das Ausbringen an Gussblöcken 85 Hunderttheile. Bei diesen Ziffern ist der Verlust im Kupolofen in-

1) Bei der Kleinbessemerei in der Clapp-Griffiths-Birne auf nordamerikanischen Werken, bei welcher man zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Temperatur ein sehr siliciumreiches Roheisen verarbeitet und reichliche Eisenmengen verschlackt, soll der Verlust sogar bis auf 20 Hunderttheile steigen (The Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, p. 683); dagegen beträgt nach Howe bei der Verarbeitung grosser Einsätze mit nur etwa 0,7 Hunderttheilen Silicium und 0,6 Hunderttheilen Mangan auf nordamerikanischen Werken der Abbrand nicht über 8 Hunderttheile einschliesslich des Verlustes beim Kupolofenschmelzen („Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1024).

begriffen; bei der Arbeit aus dem Hochofen ist der Abgang etwa 2 Hundertheile niedriger.

Ueber die Umstände, von welchen die Erzeugungsfähigkeit einer Bessemer- oder Thomashütte abhängt, sind bereits auf Seite 892 einige Mittheilungen gemacht worden. Die bedeutendsten Leistungen in dieser Beziehung weisen einige nordamerikanische Eisenwerke auf. Die Verarbeitung von 70 Einsätzen in 12 Stunden ist dort nicht selten; einige haben es innerhalb längerer Zeiträume bis auf durchschnittlich 90 Einsätze in 12 Stunden gebracht.[1]) Welche ungeheure Eisenmenge selbst bei einem nur mässigen Fassungsraume der Birnen (6 bis 7 t) hierbei erfolgen muss, lässt sich unschwer berechnen. Einzelne Werke erzeugen täglich mehr als 1600 t Blöcke. Dennoch darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Erzielung so grosser Leistungen auf die Dauer nur dann möglich ist, wenn auch die Verwendung des erzeugten Eisens gesichert ist. Europäische Bessemer- oder Thomashütten würden, auch wenn sie mit allen Hülfsmitteln zur Darstellung so grosser Mengen Eisen versehen wären, doch vorläufig nur sehr ausnahmsweise die lohnende Verwendung dafür finden können.

Die Arbeiter einer Bessemer- oder Thomashütte bestehen aus den Schmelzern an den Schmelzöfen nebst ihren Gehülfen, den Arbeitern zur Wartung der Birnen, zur Bedienung der Giessgrube (Aufstellung der Gussformen, Fortschaffen der Blöcke und der Schlacke u. s. w.), zur Aussbesserung der Giesspfanne und Birnen u. a. m. Die Gesammtzahl der hierbei beschäftigten Leute kann nach dem Umfange des Betriebes zwischen 50 bis 500 sich bewegen. Die für 1 t Blöcke gezahlten Löhne pflegen 3 bis 4 Mark zu betragen[2]), können aber bei sehr beschränktem Umfange des Betriebes auch bis auf 8 Mark steigen.

Der Steinkohlenverbrauch für die Heizung der Dampfkessel pflegt auf europäischen Werken 150—300 kg für 1 t erzeugten Eisens zu betragen, abweichend vornehmlich nach der Höhe der Gesammterzeugung an Eisen wie nach der Einrichtung der Dampfkessel und Dampfmaschinen. Bei nordamerikanischen Werken mit sehr hohen Tageserzeugungen soll der Steinkohlenverbrauch für diesen Zweck mitunter auf weniger als 100 kg sinken.

Die Ausgabe für Erneuerung der Gussformen beträgt gewöhnlich 1,5 bis 2 Mark für 1 t erzeugten Eisens (15 bis 20 kg Gusseisen), die Ausgabe für Erneuerung des Birnenfutters und der Böden 1,5 bis 3 Mark.

Aus den Ausgaben für Roheisen, Brennstoff, Löhne, feuerfeste Materialien, Gussformen unter Hinzurechnung der gesammten Insgemeinkosten (Seite 574) und beim basischen Verfahren der Kosten für den Kalkzuschlag lassen sich die Selbstkosten des Erzeugnisses zusammenstellen. Jene Insgemeinkosten erreichen gewöhnlich annähernd den gleichen bis anderthalbfachen Betrag der Löhne. Vergleicht man die

1) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1023.

2) Auch auf den nordamerikanischen Werken pflegen die Löhne sich innerhalb dieser Grenzen zu halten, obschon der Tagesverdienst des amerikanischen Arbeiters um etwa 25 Hunderttheile höher ist als der des europäischen. Die höhere Erzeugung der amerikanischen Werke liefert die Erklärung dafür.

Kosten des sauren Verfahrens mit denen des basischen, so ergiebt sich, dass dem höheren Preise des für das erstere Verfahren erforderlichen siliciumreicheren und phosphorarmen Roheisens bei dem basischen Verfahren gegenüberstehen die Mehrkosten für Kalk und höheren Abbrand. Auch die Kosten des basischen Futters pflegen etwas höher als die des sauren zu sein. Sämmtliche Kosten des eigentlichen Frischens, welche der Ausgabe für Roheisen und Eisenmangan hinzuzurechnen sind, um die Erzeugungskosten der Flusseisenblöcke zu geben, betragen einschliesslich der Kosten für das Kupolofenschmelzen in Deutschland für 1 t erzeugten Eisens bei dem sauren Verfahren durchschnittlich etwa 16 Mark, bei dem basischen Verfahren 21 Mark.

Gebraucht demnach ein Werk, welches nach dem sauren Verfahren arbeitet, für 1 t Blöcke 1100 kg Roheisen zum Preise von 60 Mark für 1 t und 8 kg Eisenmangan zum Preise von 160 Mark für 1 t, so betragen die Selbstkosten des erzeugten Eisens annähernd

1100 kg Roheisen zu 60 Mark . . .	66 Mark	— Pfg.
8 „ Eisenmangan zu 160 Mark .	1 „	28 „
Kosten des Frischens	16 „	— „
zusammen	83 Mark	28 Pfg.

Kostet dagegen 1 t Thomasroheisen auf dem nämlichen Werke 45 Mark, so würden bei dem basischen Verfahren die Erzeugungskosten sich ungefähr folgendermaassen stellen:

1165 kg Roheisen zu 45 Mark . . .	52 Mark	42 Pfg.
8 „ Eisenmangan zu 160 Mark .	1 „	28 „
Kosten des Frischens	21 „	— „
zusammen	74 Mark	70 Pfg.

Man wird daher bei dem basischen Verfahren alsdann meistens niedrigere Selbstkosten als bei dem sauren Verfahren erhalten, wenn der Preisunterschied der zu verwendenden Roheisensorten mehr als 9 Mark für 1 t beträgt. Nicht berücksichtigt ist jedoch hierbei der Nutzen, den die sogleich zu besprechende Verwerthung der Thomasschlacke gewährt und der unter jetzigen Verhältnissen dem basischen Betriebe mit etwa 2,0 bis 2,5 Mark für 1 t erzeugten Eisens zu gute kommt.

Arbeitet man unmittelbar aus dem Hochofen, so pflegt eine Ermässigung der Selbstkosten von 5 bis 8 Mark dadurch erzielt zu werden.

g) Die Erzeugnisse.

Das Metall.

Wenn nach Erfindung des Bessemerverfahrens wohl Mancher glaubte, dass die kostspielige Tiegelstahlerzeugung nunmehr bald verschwinden werde, so hat diese Erwartung sich nicht erfüllt. Für Darstellung aller feineren Werkzeuge, welche ein hohes Maass von Härte und Härtungsfähigkeit bei möglichst geringer Sprödigkeit besitzen sollen, ist der Tiegelstahl unersetzt geblieben, wie schon bei dessen Besprechung hervorgehoben wurde. Wohl aber findet Bessemerstahl mit einem Kohlenstoffgehalte von 0,5 Hunderttheilen und darüber für gröbere Werkzeuge, Federn und andere Gegenstände nicht selten Benutzung.

Die Menge des für diese Zwecke benutzten Bessemer- und Thomasstahles ist jedoch unbedeutend im Vergleiche zu dem Verbrauche, welchen das weiche und mittelharte Metall mit einem Kohlenstoffgehalte von weniger als 0,1 bis zu etwa 0,35 Hunderttheilen aufweist. Hier hat sich dem Verfahren allmählich, je mehr es vervollkommnet wurde, ein Gebiet erschlossen, an welches man bei seiner Erfindung kaum dachte, und dessen jetzige Bedeutung man nicht zu ahnen vermochte. Die grösste Menge aller Eisenbahnschienen wird aus Bessemer- oder Thomasmetall gefertigt, zahlreiche andere Gegenstände des Eisenbahnbaues und Eisenbahnbetriebes bestehen aus dem nämlichen Materiale. Es ist kaum abzusehen, wie der jetzige ungeheuere Eisenbedarf für jene Zwecke ohne die Massenerzeugung des Bessemer- und Thomasverfahrens gedeckt werden könnte.

Auch für Bauwerkeisen aller Art — Träger, Bleche, Winkeleisen u. s. w. — hat das in der Birne erblasene Metall eine umfangreiche Benutzung erlangt, freilich erst nach Ueberwindung mancher Schwierigkeiten, welche anfänglich aus der Unkenntniss der besonderen Eigenschaften des Flusseisens und aus fehlerhafter Behandlungsweise bei seiner Verarbeitung erwuchsen. Mächtige Brücken sind in den jüngstverflossenen Jahren aus Birnenflusseisen, insbesondere aus Thomaseisen erbaut worden.[1])

Dass die Erzeugung eines durch ein hohes Maass von Geschmeidigkeit, Leichtschmiedbarkeit und Leichtschweissbarkeit ausgezeichneten Eisens leichter durch das basische als durch das saure Verfahren möglich sei, ergiebt sich aus dessen Eigenthümlichkeiten. Auf den Gebieten der Verwendung des Eisens, wo in erster Reihe jene Eigenschaften in Betracht kommen, ist deshalb die Erfindung des Thomasverfahrens ganz besonders bahnbrechend gewesen. Weichen Draht, Feinbleche, für deren Herstellung man früher mitunter Frischfeuer auch in Gegenden betrieb, welche keinesfalls reich an den dafür erforderlichen Holzkohlen waren, gewöhnliches Stangeneisen aller Art für die Zwecke des Schmiedes und Schlossers fertigt man in grossen Mengen aus Thomasmetall statt, wie ehedem ausschliesslich, aus Schweisseisen.

Verhältnissmässig selten ist noch die Benutzung des in der Birne erzeugten Flusseisens für Herstellung von Formguss geblieben. Binnen kurzer Zeit wird bei der Gewinnung des Metalls eine grosse Menge Wind hindurchgeführt; reichliche Gelegenheit findet es hierbei, Gase zu lösen, und, ohne erst abzustehen, muss es sofort nach Beendigung des Verfahrens vergossen werden. Schwieriger als bei anderen Verfahren ist es daher, dichte Abgüsse zu erzielen. Wo man sich des Windfrischens für den erwähnten Zweck bedient, pflegt man kleine Birnen mit saurem Futter anzuwenden, welche eben nur für die Giesserei betrieben werden. Sie gewähren den Vortheil, dass man rasch auch geringere Mengen flüssigen Metalls erzeugen kann, ohne einen ununterbrochenen Betrieb führen zu müssen. In einigen Giessereien soll ein derartiger Betrieb mit gutem Erfolge eingeführt worden sein.[2])

1) Näheres über diese Verwendung: „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 581 (Mehrtens).

2) Einiges Nähere: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 454; 1893, Seite 830.

Die Schlacken.

Die Zusammensetzung der Schlacken des sauren Verfahrens bewegt sich ihrer geschilderten Entstehungsweise gemäss etwa innerhalb folgender Grenzen:

Kieselsäure	45 bis 60	Hunderttheile
Manganoxydul	10 „ 45	„
Eisenoxydul	35 „ 5	„

Ausserdem Thonerde, Kalkerde, Magnesia, aus dem Birnenfutter und aus der vom Roheisen aus dem Hoch- oder Kupolofen mitgebrachten Schlacke stammend. Die früher (Seite 933 und 934) mitgetheilten Analysen liefern einige Beispiele hierfür.

Sind die Schlacken reich an Mangan, so setzt man sie bisweilen beim Hochofenschmelzen manganarmen Beschickungen zu, sofern eine Anreicherung von deren Mangangehalte wünschenswerth erscheint; im Uebrigen haben sie bislang keine Verwendung von Bedeutung gefunden.

Für die Schlacken des basischen Verfahrens (Thomasschlacken) dagegen bietet die Landwirthschaft eine lohnende Verwendung; sie dienen ihres hohen Phosphorsäuregehaltes halber als Düngemittel. Anfänglich glaubte man, dass für diesen Zweck zunächst eine Anreicherung des Phosphorsäuregehaltes und Aufschliessen der Schlacken auf chemischem Wege erforderlich sei; später ergab sich, dass auch die hinreichend zerkleinerte Schlacke selbst ohne besondere chemische Behandlung den Zweck erfüllen könne.[1]) Man pflegt daher in der Jetztzeit von einer chemischen Behandlung der Schlacke abzusehen und sie nur einer mechanischen Aufbereitung durch Mahlen und Sieben zu unterziehen. Wichtig aber ist es für die Verwendung, dass ihr Phosphorsäuregehalt möglichst hoch sei (nicht unter 16 Hunderttheile), dass also der Kalkzuschlag beim Frischen nicht reichlicher, als nöthig ist, bemessen werde, und dass man ein Roheisen wähle, welches nicht grössere Mengen von Fremdkörpern (Silicium, Mangan) in die Schlacke führe, als dem günstigen Verlaufe des Frischens entspricht. Mitunter giebt man, um eine thunlichst phosphorreiche Schlacke zu erzielen, anfänglich nur Zweidrittel bis Dreiviertel des gesammten Kalkzuschlages, giesst die hierbei entstehende Schlacke ab, wenn sie mit Phosphorsäure gesättigt ist, und bringt nun erst den Rest des Kalkes in die Birne, um die Entphosphorung des Eisens zu Ende zu führen.[2]) Das Verfahren erfordert jedoch hohe Temperatur, damit das Metall durch den zuletzt gegebenen Kalk nicht allzu sehr abkühle, und die Endschlacke wird nunmehr phosphorärmer. Nicht immer findet sich für letztere ausreichende Verwendung.

Zur Ergänzung der früher gegebenen Mittheilungen über die Zusammensetzung der Thomasschlacken mögen nachfolgende Beispiele der Zusammensetzung von Endschlacken dienen, welche in neuerer Zeit gewonnen wurden.

1) Einige Mittheilungen über die Anwendung der Thomasschlacke in der Landwirthschaft findet der Leser in „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 593; 1886, Seite 59 und 688.

2) Scheiblers Verfahren; „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 687.

	I	II	III	IV	V	VIa	VIb
Kieselsäure	5,76	6,77	16,41	6,69	7,07	6,99	4,79
Phosphorsäure	19,19	16,92	11,75	17,75	22,50	24,73	16,33
Thonerde	1,43	1,68	1,58	0,95	0,89	n. best.	n. best.
Eisenoxyd	2,07	0,96	10,41	5,70	5,27	—	—
Eisenoxydul	12,72	10,77	10,55	10,65	6,49	11,98	26,03
Manganoxydul	3,43	7,16	14,91	7,71	7,81	5,40	4,62
Kalkerde	47,34	51,00	31,00	48,42	47,36	46,84	42,05
Magnesia	6,01	3,01	2,08	2,05	1,67	4,09	6,83
Vanadiumoxyd	1,19	—	—	—	—	—	—
{Calcium	0,41	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	0,27	0,29
{Schwefel	0,51	„	„	„	„	0,34	0,36

I. Schlacke der North Eastern Steel Co. (Journal of the Iron and Steel Institute 1887, I, p. 223).

II bis V. Schlacken von vier deutschen Eisenwerken, nach von Reis (Zeitschr. für angewandte Chemie 1892, Seite 229).

VIa. Schlacke von Hörde, mit Zweidrittel des gesammten Kalkzuschlages erzeugt und vor beendigter Entphosphorung abgegossen.

VIb. Endschlacke von demselben Einsatze wie VIa, nach Zusatz des Restes des Kalkzuschlages entstanden.

(VIa und VIb nach persönlicher Mittheilung; auch „Stahl und Eisen" 1890, Seite 940.)

Vereinzelt setzt man die Thomasschlacken beim Hochofenbetriebe wieder zu, wenn die zu verhüttenden Erze zu arm an Phosphor sind, um ein für das Thomasverfahren gut geeignetes Roheisen zu liefern. Besonders finden die phosphorsäureärmeren Endschlacken, welche bei Anwendung des erwähnten Scheibler-Verfahrens entstehen (vergleiche oben Schlacke VIb), hierfür Anwendung.

8. Das Martinverfahren.

a) Einleitung.

Man versteht unter der Bezeichnung Martinverfahren die Darstellung von Flusseisen auf dem Herde eines Flammofens (englisch *open-hearth-process*). Schon in den vierziger und fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts wurden Versuche gemacht, durch Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen im Flammofen Stahl zu erzeugen; einen befriedigenden Erfolg ergaben diese Versuche erst, nachdem man durch Einführung der Siemensfeuerungen die Möglichkeit erlangt hatte, höhere Temperaturen als zuvor in Flammöfen zu erreichen. Im Jahre 1865 führten zuerst die Gebrüder Martin in Sireuil in einem von W. Siemens zu diesem Zweke gebauten Ofen einen regelmässigen Betrieb ein.

Die Materialien für die Herstellung des Martineisens können, wie für die Tiegelstahldarstellung, verschieden sein; Rücksicht jedoch muss bei ihrer Auswahl auf den Umstand genommen werden, dass das Metall stundenlang der oxydirenden Einwirkung des Gasstromes ausgesetzt ist. Es ist deshalb Regel, von vornherein Roheisen als Zusatz zu verwenden, dessen Kohlenstoff, Mangan- und Siliciumgehalt vor-

nehmlich den Zweck zu erfüllen hat, durch eigene Verbrennung das Eisen vor der sonst unfehlbar eintretenden reichlichen Verschlackung zu schützen.

Das Hauptmaterial dagegen besteht meistens aus schmiedbarem Eisen: Abfällen aller Art, Ausschussstücken vom Walzen, Alteisen; es giebt kaum irgend einen eisernen Gegenstand, der nicht im Martinofen sich noch verwerthen liesse. Ausgeschlossen sind nur solche Eisentheile, welche schädliche, beim Schmelzen nicht austretende Körper in den Ofen führen würden (z. B. Weissbleche).

Diese Möglichkeit der massenhaften Aufarbeitung alten schmiedbaren Eisens bildet in zahlreichen Fällen eine vortheilhafte Eigenthümlichkeit des Martinverfahrens; bisweilen aber können örtliche Verhältnisse, insbesondere das Preisverhältniss zwischen dem zur Verwendung stehenden schmiedbaren Eisen und Roheisen, es auch wünschenswerth erscheinen lassen, eine stärkere Verwendung des letzteren unter Abminderung des Verbrauches an schmiedbarem Eisen eintreten zu lassen, ohne den Kohlenstoff-, Silicium- oder Mangangehalt des darzustellenden Flusseisens durch den grösseren Roheisenzusatz zu erhöhen. Der Zweck lässt sich durch Verstärkung der Oxydationswirkung beim Schmelzen erreichen, und das einfachste Mittel hierzu ist der Zusatz von Eisenerzen zum Roheisen, deren Sauerstoffgehalt die Oxydation bewirkt, während das Eisen reducirt und vom Metallbade aufgenommen wird.

In weiterer Verfolgung des Bestrebens, durch Zusatz von Erzen schmiedbares Eisen zu sparen, würde man schliesslich dahin gelangen, nur Roheisen und Erze zusammen einzuschmelzen. In der That ist das Verfahren in dieser Weise bisweilen durchgeführt worden, aber es hat sich nicht als vortheilhaft genug bewährt, um zu einer regelmässigen Anwendung zu gelangen. Mit der Menge der zugesetzten Erze wächst die Schwierigkeit, ein haltbares Herdfutter zu erlangen, und die Herstellung eines neuen Ofenherdes ist eine kostspielige Arbeit; aus den Erzen wird, wie bei allen Verfahren der Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen, nur ein Theil ihres Eisengehaltes reducirt, ein anderer Theil geht in die Schlacke, und die Ausnutzung der Erze bleibt demnach unvollständig; endlich sinkt auch, und dieser Umstand ist besonders hinderlich, die Erzeugungsfähigkeit des Ofens ganz erheblich, während der Brennstoffverbrauch steigt, theils, weil die chemische Einwirkung des Roheisens und der Erze auf einander längere Zeit beansprucht, als das einfache Schmelzen, theils auch, weil die Erze und die daraus entstehende Schlacke einen gewissen Raum beanspruchen, der Einsatz also kleiner sein muss.[1])

Ursprünglich fertigte man den Herd der Martinofen nur aus kieselsäurereichem Materiale. Eine Entphosphorung war auf solchem Herde ebensowenig möglich als in der Bessemerbirne mit saurem Futter. Nachdem das Thomasverfahren eingeführt worden war, begann man, auch die Herde der Martinöfen mit basischen Ofenbaumaterialien aus-

1) Nach Sóltz sank bei Versuchen, nur mit Roheisen und Erzen zu arbeiten, die Tageserzeugung des Martinofens auf weniger als die Hälfte von derjenigen, welche der Ofen bei dem gewöhnlichen Betriebe aufwies (Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 34).

zukleiden, um durch Abscheidung des Phosphors die Möglichkeit zu erlangen, auch ein minderwertiges Roh- und Alteisen zu verarbeiten. Der Zweck ist im vollen Maasse erreicht worden, und zugleich zeigte sich alsbald, dass die Anwendung eines basischen Ofenherdes auch noch andere Vortheile zu gewähren vermöge. Leichter und rascher verbrennt auf basischem Herde der Kohlenstoff- und Siliciumgehalt des Einsatzes, während der Eisengehalt stärker geschützt bleibt.[1]) Die Zeitdauer des Verfahrens wird abgekürzt, die Leistung des Ofens erhöht, und leichter ist es auf basischem als auf saurem Herde, ein von Fremdkörpern reines, durch Geschmeidigkeit und Schweissbarkeit ausgezeichnetes Eisen zu gewinnen.

Man unterscheidet demnach auch hier ein saures und ein basisches Verfahren; seiner erwähnten Vortheile halber ist jedoch das letztere in der Jetztzeit weit häufiger als das erstere in Benutzung. Selbst in Gegenden, wo ein Phosphorgehalt des Einsatzes kaum zu fürchten ist (Steiermark, Schweden), hat es das saure Verfahren mehrfach verdrängt, sofern man ein weiches, nicht sehr kohlenstoffreiches Erzeugniss gewinnen will. Oefen mit saurem Futter sind vorwiegend noch da in Anwendung, wo man wirklichen Stahl zu erzeugen beabsichtigt, oder wo das gewonnene Metall für Formgussdarstellung verwendet werden soll.

Unter der stundenlang andauernden Oxydationswirkung des Ofens nimmt auch das Martinmetall Eisenoxydul auf, welches vor dem Ausgiessen durch Zusatz von Eisenmangan oder Spiegeleisen zerstört werden muss. Für die Wahl des Zusatzes und die Bemessung seiner Höhe sind dieselben Umstände maassgebend wie beim Windfrischen (Seite 893). Für Darstellung eines kohlenstoffreicheren Erzeugnisses findet auch beim Martinschmelzen das Darbyverfahren (Seite 920) mitunter Anwendung, nachdem zuvor ein Eisenmanganzusatz gegeben worden ist.

b) Der Martinofen.

Man richtet die Oefen für Einsätze von 4 bis 40 t ein[2]), also in sehr abweichender Grösse. Je grösser der Ofen ist, desto niedriger sind im Allgemeinen die Löhne, die Anlage und Unterhaltungskosten, bezogen auf die gleiche Menge erzeugten Eisens; auch der Brennstoffverbrauch für Darstellung einer bestimmten Menge Eisen ist durchschnittlich in grossen Oefen geringer als in kleinen. Gehen aber die Abmessungen des Ofens über ein gewisses mittleres Maass hinaus, so wächst die Schwierigkeit, ihn gleichmässig zu erhitzen; auch die Bedienung des Ofens wird schwierig. Vor allen Dingen aber kommt in Betracht, dass die erforderlichen Vorrichtungen zum Giessen der grösseren Metallmenge schwerfälliger und kostspieliger ausfallen, und dass die Zeitdauer des Giessens sich ausdehnt, wodurch die Gefahr entsteht, dass das Metall abkühle. Es ist bequemer, aus zwei Oefen Einsätze von je 15 t nacheinander zu vergiessen, als aus nur einem

1) Die Ursachen dieser Abweichungen sind die nämlichen wie beim Windfrischen auf saurem und basischem Futter (Seite 923).

2) Oefen von 40 t Fassungsraum sind in Pittsburg gebaut worden. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XVI, p. 693.

Ofen einen Einsatz von 30 t mit einem Male. Auf deutschen Eisenwerken sind deshalb Oefen für Einsätze von 8 bis 15 t am häufigsten. Oefen für weniger als 4 t Einsatz, für kleine Betriebe bestimmt, sind mitunter gebaut worden, haben sich aber wenig bewährt. Der Brennstoffverbrauch ist hoch, und die Theile des Ofens, welche mit der im engen Raume entwickelten Flamme in unmittelbare Berührung treten, sind verhältnissmässig rascher Zerstörung unterworfen. Auch die Löhne wachsen beträchtlich; das Erzeugniss wird kostspielig.

Die Einführung des Martinverfahrens ist erst, wie schon in der Einleitung hervorgehoben wurde, durch Erfindung der Siemensfeuerungen möglich geworden, und bis heute sind sämmtliche Martinöfen mit Siemensfeuerung oder einer Abart davon versehen.[1]) Keine andere der bis jetzt erfundenen Feuerungseinrichtungen ist so, wie die Siemens'sche, befähigt, die zur Ausführung des Verfahrens erforderliche hohe Temperatur zu entwickeln.

Die früher gegebenen Abbildungen Fig. 23—26 (Seite 136) stellen die Einrichtung eines im Jahre 1883 auf einem deutschen Eisenwerke erbauten Martinofens für 7,5 t Einsatz dar; ein Martinofen von etwas abweichender Einrichtung (liegende Wärmespeicher) ist in Fig. 29 und 30 auf Seite 140 abgebildet, und in neuester Zeit hat auch die durch die Abbildungen Fig. 31 und 32 auf Seite 141 veranschaulichte Form mehrfache Benutzung gefunden.[2]) Als Ergänzung zu diesen früheren Abbildungen möge zunächst die in Fig. 295 und 296 gegebene Zeichnung eines ungarischen Martinofens für 15 t Einsatz dienen.[3])

Der Ofen ist, wie sich leicht erkennen lässt, mit stehenden, in den Erdboden eingebauten Wärmespeichern, der jetzt noch üblichsten Einrichtung, versehen; auf einige Eigenthümlichkeiten wird bei der Besprechung der einzelnen Theile der Martinöfen hingewiesen werden.

Der Herd der Martinöfen besteht aus einer Mulde, welche von Eisenplatten getragen wird. Man verwendet Gusseisenplatten oder vernietete Bleche. Diese Herdumfassung muss frei liegen, damit die Luft Zutritt hat und eine mässige Kühlung bewirke. Früher legte man deshalb den Herdboden gewöhnlich auf schmale Mauerpfeiler, welche auf den Gewölben der darunter befindlichen Wärmespeicher ruhten (Fig. 23 und 24, Seite 136). Die Einrichtung ist jedoch nicht zweckmässig. Der Herd und die Wärmespeicher werden dadurch von einander abhängig; das zum Tragen des Herdes dienende Mauerwerk der letzteren muss für diesen Zweck entsprechend stark gebaut sein, und jede eintretende Aenderung in den Abmessungen der Wärmespeicher beim

1) Zu diesen Abarten gehören insbesondere die Oefen mit nur zwei Wärmespeichern, welche für die Erhitzung der Luft bestimmt sind, während das Gas nicht erhitzt wird. Der Fall kommt vor, wenn statt des Luftgases ein Gas von höherer Wärmeleistung benutzt wird (Naturgas, Wassergas), oder wenn das verwendete Luftgas sehr heiss den Gaserzeuger verlässt und, ohne abgekühlt zu werden, in den Ofen eintritt (Seite 148). Diese Fälle bilden jedoch ziemlich seltene Ausnahmen; die Regel ist die Anwendung gewöhnlicher Siemensöfen mit vier Wärmespeichern.

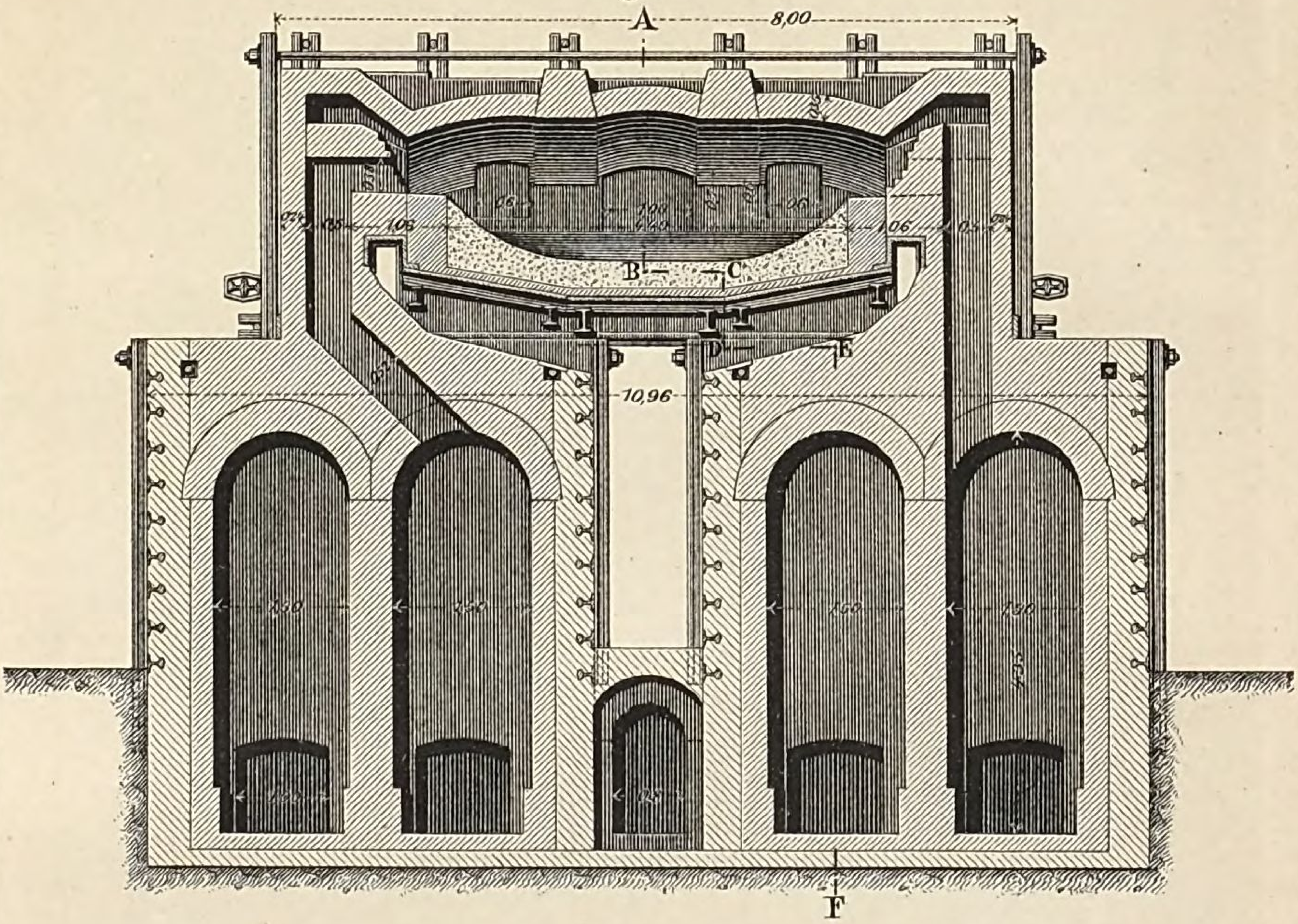
2) Ein neuerer Ofen von der zuletzt erwähnten Einrichtung, d. h. mit freistehenden Wärmespeichern neben dem Ofen, ist auch unten in Fig. 297 und 298 dargestellt.

3) Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1893, Taf. I; auch „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 397.

Martinofen für 15 t. Einsatz

1/120 der wirklichen Grösse.

Fig. 295



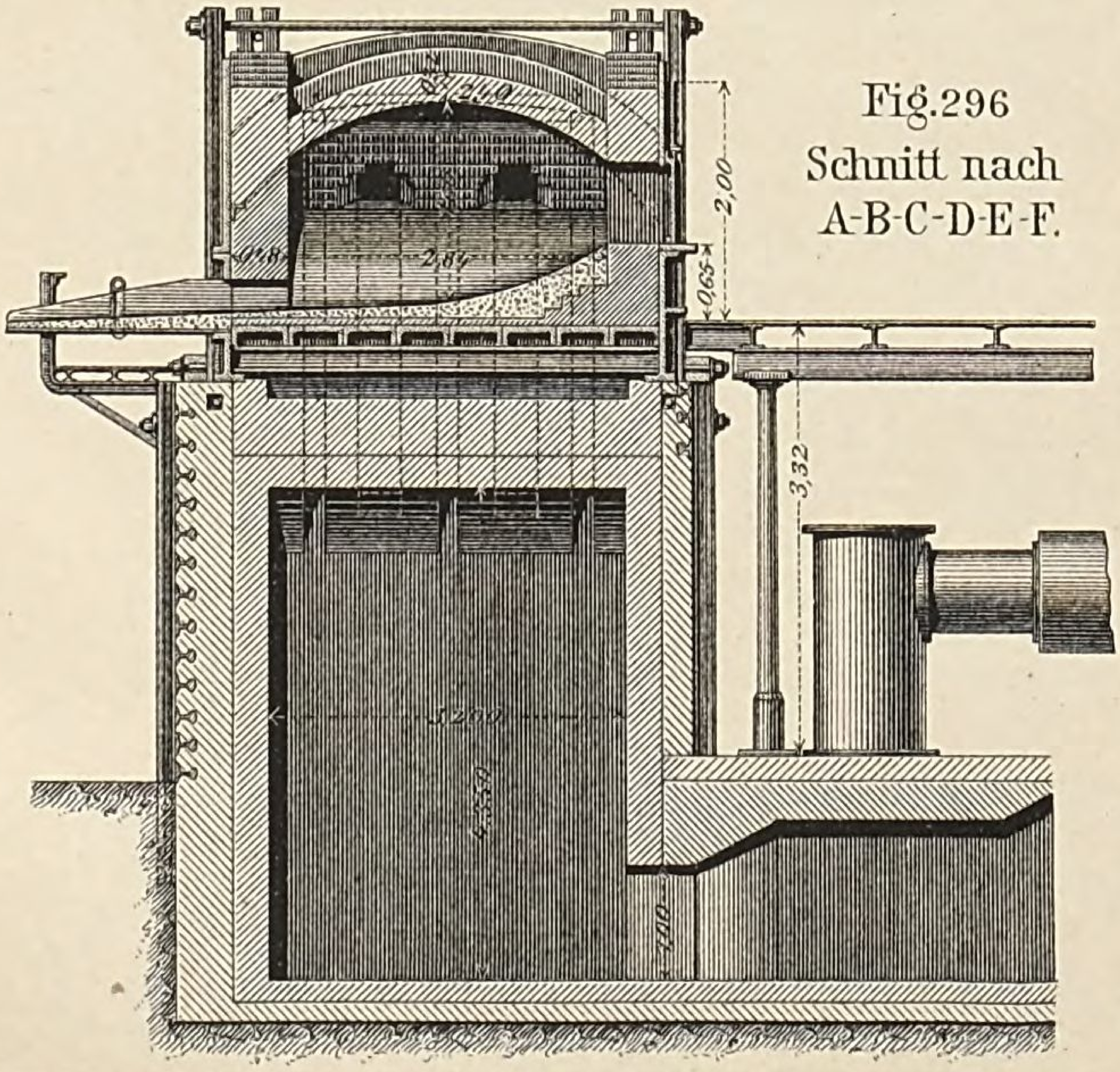


Fig. 296
Schnitt nach
A-B-C-D-E-F.

Verlag v. Arthur Felix, Leipzig. Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Martinofen für 20 t. Einsatz

1/96 der wirklichen Grösse.

Fig. 297 Schnitt nach A-B-C-D.

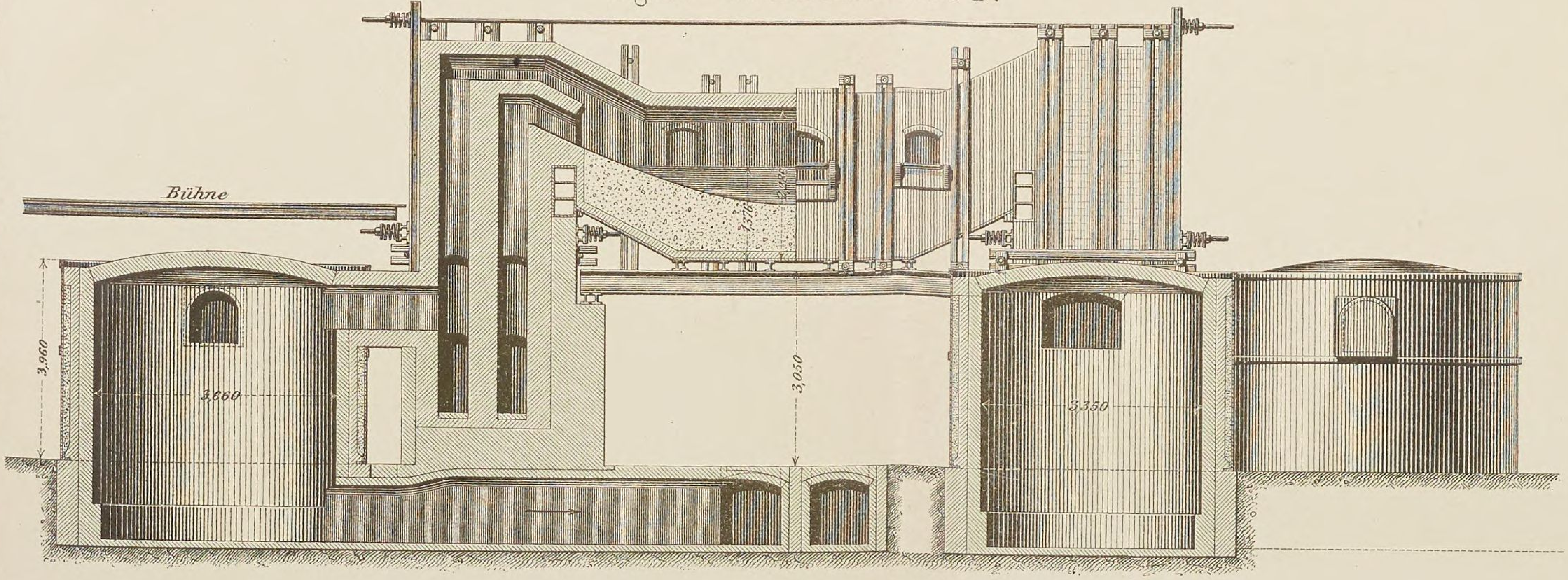
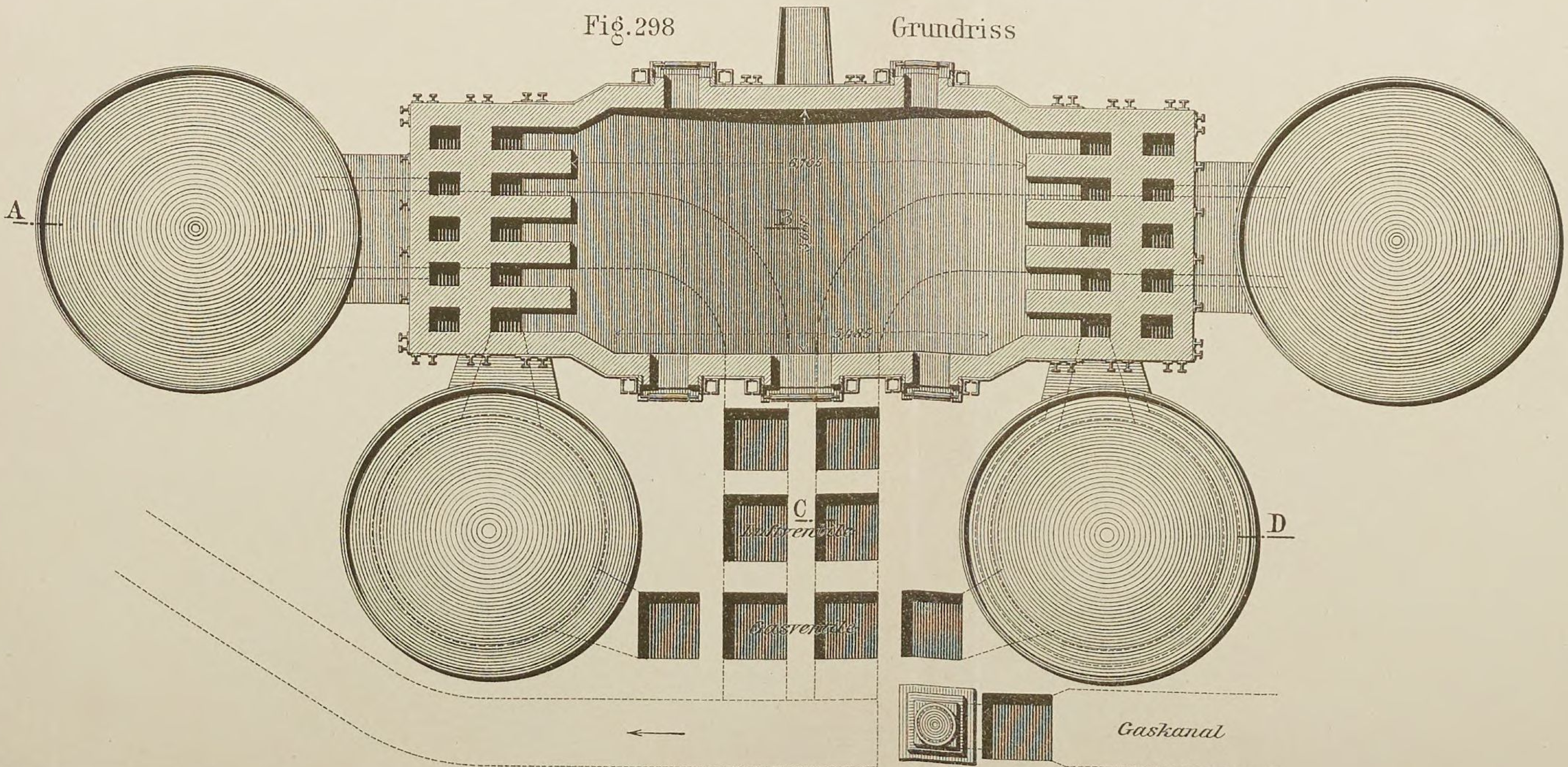


Fig. 298 Grundriss



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Heizen und Erkalten gefährdet die richtige Lagerung des Herdes. Deshalb pflegt man bei neueren Oefen, deren Wärmespeicher unter dem Herde angeordnet sind, den Herd auf Eisenträgern ruhen zu lassen, welche über die inneren Wände der Wärmespeicher hinüber ragen und von besonderen Pfeilern oder Umfassungsmauern getragen werden (Fig. 295 und 296). Auch die Seitenwände des Ofens sucht man soviel als thunlich unabhängig von den Wärmespeichern zu machen. Durch Anwendung liegender Wärmespeicher neben dem Ofen (Fig. 29 und 30, Seite 140) oder oberirdischer seitlich stehender Wärmespeicher (Fig. 31 und 32, Seite 141, sowie unten Fig. 297 und 298) wird die Belastung der Wärmespeicher in vollkommenster Weise vermieden; aber der grössere Bedarf an Grundfläche, welcher, zumal bei Anordnung liegender Wärmespeicher, sich geltend macht (Seite 139), bildet auch bei Martinöfen einen Nachtheil, welcher ihre häufige Anwendung verhindert hat.

Auch an den Stirnseiten liegt der Herd frei und wird durch eiserne Platten gehalten; an den Längsseiten erhält er durch die Ofenwände seine Begrenzung. Um den Zutritt der Luft zu den Herdumfassungen an den Stirnseiten und am Boden zu ermöglichen, müssen die Umfassungsplatten des Ofens mit entsprechenden Durchgangsöffnungen versehen werden. Die gegebenen Abildungen lassen diese Oeffnungen erkennen. Bei dem Ofen Fig. 31 sowie bei dem unten abgebildeten Ofen Fig. 297 liegt der Herd ohnehin ringsherum frei. Wasserkühlung, wie bei Puddelöfen, zum besseren Schutze des Herdes ist mitunter versucht worden, hat sich jedoch nicht bewährt. Das Maass der eintretenden Kühlung ist zu beträchtlich; an den gekühlten Stellen bilden sich erstarrte Ansätze, und die Durchführung des Verfahrens wird erschwert.

Für den Herd selbst benutzt man bei dem saurem Verfahren ein kieselsäurereiches Material. Unmittelbar auf die Platten kommt gewöhnlich eine Lage von auf die Längskante gestellten Dinasziegeln, dann das eigentliche Herdfutter (der Boden). Bei den meisten Martinöfen wird es aus möglichst reinem Quarz hergestellt, welcher bis zu Erbsengrösse gepocht und dann mit etwa 2—5 Hunderttheilen feuerfestem Thon als Bindemittel vermischt wird. Das Futter wird entweder im feuchten Zustande eingestampft, dann getrocknet und schliesslich allmählich bis zur vollen Temperatur erhitzt; oder man sintert es ein, indem man zunächst eine nur etwa 20 mm hohe Lage einschüttet, diese bis zum Sintern erhitzt, dann eine zweite Lage auf die erste bringt, wiederum erhitzt u. s. f., bis die gewünschte Dicke erreicht ist. In Oesterreich benutzt man bisweilen zur Herstellung des Bodens einen bei Wien vorkommenden Sand, welcher neben etwa 87 Hunderttheilen Quarz etwas Feldspath und Erden enthält und sich ohne besonderen Zusatz zum Sintern bringen lässt, ohne zu schmelzen. Mitunter auch mischt man mehrere Sande mit einander, einen unschmelzbaren mit einem etwas leichter schmelzbaren, um die nothwendige Sinterung ohne Schmelzung zu ermöglichen.

Herde für das basische Verfahren werden meistens aus gebranntem Dolomit oder Magnesit hergestellt (Seite 166, 168). Letzterer ist noch haltbarer als Dolomit, aber in den meisten Fällen auch kostspieliger.

Zunächst kleidet man die Herdumfassung auch hier mit Ziegeln aus, und zwar benutzt man auch bei Anwendung von Dolomitherden für diesen Zweck gern Magnesitziegel; auf diese gemauerte Unterlage wird die obere Schicht aus dem gebrannten und gemahlenen Material aufgestampft. Bei Dolomitherden mengt man den Dolomit mit Theer wie bei Auskleidung der Thomasbirnen; Magnesitherde stampft man ohne Zusatz von Theer (Seite 169). Mitunter mengt man zur Erleichterung des Sinterns etwas Dolomitmilch oder auch gemahlene Schlacke bei. Die Herstellung eines haltbaren Herdes für das basische Verfahren erfordert eine gewisse Erfahrung und führt bei den ersten Versuchen nicht selten zu Misserfolgen.[1])

Vereinzelt hat man auch Chromeisenerz zur Herstellung des Herdes verwendet.

Die Stärke des Herdes am Boden pflegt bei basischen Zustellungen 0,30 bis 0,45 m, bei sauren 0,5 m und darüber zu betragen.

An der tiefsten Stelle des Herdes befindet sich das Stichloch, ausreichend gross, um Verstopfungen unmöglich zu machen (150 bis 200 mm weit und hoch), und während des Schmelzens durch eingerammte Masse verschlossen gehalten.

Auf dem Herde steht das flüssige Metall in einer Schicht von mindestens 0,3 m, häufiger 0,4 bis 0,5 m, bisweilen 0,6 m Höhe. Je geringer die Höhe des Metallbades ist, desto mehr Oberfläche bietet es bei gegebenem Gewichte den vorüberziehenden Gasen dar, in desto stärkerem Maasse wird es oxydirt. Bei Verarbeitung von viel Roheisen hält man demnach das Bad flacher als bei geringerem Roheisenzusatz, bei Darstellung weichen Eisens flacher als bei der Darstellung von Stahl. Für die Wärmeausnutzung ist ein flacher Herd aus nahe liegenden Gründen günstiger als ein tiefer. Ausser dem Metalle muss aber auch die miterfolgende Schlacke auf dem Herde genügenden Platz finden. Die Menge dieser Schlacke ist ziemlich unbedeutend bei der Arbeit auf saurem Herde ohne Erzzusatz; sie wächst mit der Menge des zugesetzten Erzes und kann beim basischen Verfahren, wo noch ein Kalkzuschlag gegeben wird, recht erheblich sein. Man macht daher in dem erstern Falle den Herd um etwa ein Achtel, bei sauren Oefen mit reichlichem Erzzusatz um ein Drittel, bei basischen Oefen um zwei Drittel grösser, als für die Aufnahme des Metalls allein erforderlich sein würde. Je mehr Schlacke aber gebildet wird, welche das Metall vor der unmittelbaren Berührung der Flamme schützt, desto flacher kann die Metallschicht sein, ohne dass eine übermässige Oxydationswirkung zu befürchten ist, und aus diesem Grunde sind die Unterschiede in der Herdtiefe bei sämmtlichen Martinöfen nicht so bedeutend als der Rücksicht auf jene Schlackenmenge an und für sich entsprechen würde. Auch bei kleinen Oefen mit saurem Futer pflegt die Herdtiefe nicht weniger als 0,45 m und bei grossen Oefen für das basische Verfahren nicht über 0,75 m zu betragen.

Aus der Tiefe des Metallbades und der Grösse des Einsatzes lässt sich die erforderliche Herdoberfläche berechnen. Bezeichnet man die

1) Einiges Nähere über Herstellung von Magnesitherden: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 853; 1890, Seite 222.

Herdoberfläche in Quadratmetern mit *f*, das Einsatzgewicht in Tonnen mit *e*, so findet man bei den meisten Oefen annähernd folgende Beziehung:

Grösse des Einsatzes (*e*):	7 t und darunter	8 t	10 t	12 t	15 t und darüber
f für sauren Betrieb . .	1,1 *e*	1,0 *e*	0,9 *e*	0,8 *e*	0,7 *e*
f für basischen Betrieb .	1,3 *e*	1,2 *e*	1,0 *e*	0,9 *e*	0,8 *e*

Wichtig ist ferner das Verhältniss der Herdlänge zur Herdbreite bei gegebener Herdfläche. Ist die Herdlänge zu gering bemessen, so entsteht die Gefahr, dass die Verbrennung des Gases erst in den Wärmespeichern ihr Ende erreiche und somit der Brennstoff ungünstig ausgenutzt werde. Daher wird jenes Verhältniss um so reichlicher genommen, je kleiner der Ofen ist. Selten giebt man auch kleinen Oefen eine geringere Herdlänge als 3,5 m, bei sehr grossen geht man bis auf 8 m Länge.[1]) Das Verhältniss $\frac{\text{Herdlänge}}{\text{Herdbreite}}$ pflegt demnach bei kleineren und mittelgrossen Oefen ungefähr $^2/_1$, bei grossen ungefähr $^3/_2$ zu sein. Die Form des Herdes im Grundrisse ist fast immer ein Rechteck. Elliptische Herde sind mitunter zur Anwendung gelangt (Fig. 32 auf Seite 141), ohne besondere Vortheile zu gewähren.

Die Umfassungswände und die Decke des Ofens werden stets — auch bei Oefen für den basischen Betrieb — aus Dinasziegeln gemauert.[2]) Bei Oefen mit Dolomitherd schaltet man gewöhnlich da, wo der Herd das Ofengemäuer berührt, eine Lage von Magnesitziegeln ein, welche weniger leicht als Dolomit mit den Dinasziegeln zusammenschmelzen; auch Chromeisenerz hat für diesen Zweck Verwendung gefunden. Den Seitenwänden pflegt man etwa 350 mm Stärke, mitunter auch darüber zu geben [3]), die Decke dagegen etwas schwächer zu halten (gewöhnlich 225 bis 250 mm), um zu verhindern, dass ihr Gewicht und der dadurch erzeugte Gewölbeschub zu beträchtlich ausfalle, auch wohl zur Vermeidung einer allzu starken Erhitzung. Mitunter findet man jedoch Decken von 300 mm Stärke oder noch etwas mehr.[4])

Liegen die Wärmespeicher unter dem Ofen, so muss auch die Last der Seitenwände nebst Decke durch eine besondere Umfassungsmauer getragen werden, wie schon oben erwähnt wurde.

In den Seitenwänden sind mehrere mit senkrecht aufgehenden Schiebethüren versehene Oeffnungen angebracht, zum Einsetzen, Arbeiten (Aufbrechen, Rühren) und zur Vornahme der erforderlichen Ausbesserungen des Herdes nach jeder Hitze [5]) bestimmt. Ihre Zahl und ihre Lage ist verschieden. Die Einsatzthüren befinden sich meistens an der dem Stichloche gegenüber liegenden Seite. Bei kleinen Oefen genügt eine einzige Thür in der Mitte der Längswand sowohl zum Einsetzen als zur Vornahme der übrigen erwähnten Arbeiten; bei grösseren Oefen bringt man neben dieser Einsatzthür rechts und links je eine kleinere Thür an, durch welche auch die Enden des Herdes leicht zugänglich werden (Fig. 295); oder man giebt zwei Einsatzthüren

1) Nach Campbell sogar bis auf 12 m. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 870.

2) Magnesitziegel sind versuchsweise in Anwendung gekommen, scheinen sich aber nicht bewährt zu haben.

3) Bei dem Ofen Fig. 295 und 296 sind z. B. die Seitenwände 480 mm stark.

4) Bei dem vorstehend erwähnten Ofen 320 mm.

5) Eine „Hitze" ist die jedesmalige Verarbeitung eines Einsatzes.

an den Enden und eine kleinere Arbeitsthür in der Mitte (Fig. 23 und 26). An der Seite, wo das Stichloch sich befindet, werden nicht selten ebenfalls Thüren an beiden Seiten des Stichloches angebracht, zur Vornahme von Ausbesserungen dienend (Fig. 297 und 298)[1]; aber je grösser die Zahl der Thüren ist, desto stärker ist die dadurch bewirkte Abkühlung. Den Einsatzthüren pflegt man 700 bis 1000 mm, den übrigen Thüren etwa 500 mm Breite zu geben.

Der Decke, welche von den Seitenwänden getragen werden muss und dementsprechend gewölbt ist, pflegte man früher nach der Mitte des Herdes zu eine starke Senkung zu geben in der Absicht, die Flamme dadurch nach unten zu führen und die Erhitzung des Herdes zu erleichtern. Bei dem Ofen Fig. 23 ist diese Form der Decke erkennbar; nicht selten war die Senkung noch beträchtlicher als hier. Auch jetzt noch sind Oefen mit einer Decke wie in Fig. 23 nicht selten. Eine solche Decke ist jedoch wegen ihrer unmittelbaren Berührung durch die Flamme einer verhältnissmässig raschen Zerstörung unterworfen, und die Verbrennung der Gase wird durch die stattfindende Reibung und Abkühlung an der Decke erschwert (Seite 147). Bei neueren Oefen vermeidet man deshalb thunlichst jene starke Senkung der Decke; nicht selten führt man sie von der Stelle an, wo Gas und Luft sich mischen, geradlinig zur anderen Seite hinüber (Fig. 297), oder man lässt sie auch wohl nach der Mitte zu ansteigen (Fig. 29 auf Seite 140, Fig. 295). Oefen von der in Fig. 29 dargestellten Form sind auf steirischen Werken (Grazer Walzwerk) schon seit den siebziger Jahren mit gutem Erfolge in Benutzung; häufiger ist die Einrichtung erst seit 1885 geworden, nachdem durch Fr. Siemens in Abhandlungen und Vorträgen mehrfach auf den Nachtheil der früheren Ofenform hingewiesen worden war.[2] Die Höhe der Decke über der Oberfläche des Herdes in der Mitte des Ofens pflegt bei neueren Oefen für 5 bis 10 t Einsatz, 1,2 bis 1,4 m, für grössere Oefen 1,5 bis 1,8 m zu betragen, so dass zwischen der Oberfläche des Bades und der Decke ein freier Raum von 0,8 bis 1,0 m Höhe bleibt.

Die Stirnseiten oder Köpfe der Oefen enthalten die Kanäle für Gas und Luft, den auf Seite 146 gegebenen Erläuterungen gemäss angeordnet. Ihr Querschnitt sollte von der Grösse des Ofens und von der Beschaffenheit des zum Heizen dienenden Gases abhängig sein. Verwendet man Braunkohlengas, dessen Wassergehalt nicht verdichtet wurde, so gebraucht man zum Schmelzen derselben Eisenmenge eine grössere Raummenge Gas als bei Benutzung eines wasserarmen Steinkohlengases. In grösseren Oefen pflegt die Brennstoffausnutzung günstiger als in kleinen zu sein, d. h. man gebraucht weniger Gas zum Schmelzen der gleichen Eisenmenge als in kleinen Oefen; daher kann das Verhältniss zwischen jenem Querschnitte der Gas- und Luftkanäle zum Ofeninhalte bei grossen Oefen etwas knapper als bei kleinen bemessen werden. In Wirklichkeit findet man jedoch diesen Umständen wenig Rechnung getragen, und wenn man den Gesammtquerschnitt der Eintrittsöffnungen auf je einer Seite des Ofens, bezogen auf 1 t des Ein-

1) Aus „Stahl und Eisen“ 1891, Blatt III.

2) Literaturnachweise hierüber sind auf Seite 172 gegeben. Vergleiche auch Seite 147.

satzes, ermittelt, so findet man hierfür Werthe zwischen 330 bis mehr als 1000 qcm, also sehr erhebliche Unterschiede. Ein zu reichlich bemessener Querschnitt ist jedenfalls weniger nachtheilig als ein zu eng bemessener, welcher die Bewegung der gasförmigen Körper vor ihrem Eintritte in den Verbrennungsraum und nach dem Verlassen des Herdes erschwert und die Gefahr einer eintretenden Versetzung nahe legt. Die Kanäle selbst macht man daher gern reichlich weit und verengt sie, wenn es erforderlich ist, erst an ihrer Mündung.

Auch das Verhältniss des Querschnitts der Luftöffnungen zu den Gasöffnungen ist nicht immer gleich. Zur Verbrennung eines Luftgases mit nicht sehr reichem Wassergehalte gebraucht man annähernd die gleiche Luft- als Gasmenge; ist das Gas dagegen verhältnissmässig arm an brennbaren Bestandtheilen, so ist die Luftmenge geringer. Werden aber die Gaserzeuger mit Gebläse betrieben (Seite 107), so dass in den Gaskanälen Ueberdruck herrscht, während die Luft angesaugt werden muss. so würde bei zu eng bemessenem Querschnitte der Luftöffnungen leicht Gefahr entstehen, dass die Verbrennung unvollständig bleibt, während ein übermässiger Luftzutritt sich durch Verengung der Zulassöffnung unschwer vermeiden lässt. Man pflegt daher den Luftkanälen und Lufteintrittsöffnungen einen etwas reichlicheren Querschnitt als den Gaskanälen und Gasöffnungen zu geben, ungefähr nach dem Verhältnisse 4 : 3 bis 5 : 6; bei Oefen für Braunkohlengas, in Gaserzeugern ohne Gebläse erzeugt, sind sie mitunter gleich; in seltenen Fällen sind die Luftkanäle enger als die Gaskanäle.

Den Ein- und Austrittskanälen giebt man bei neueren Oefen, zumal bei solchen mit hoher Decke, eine ziemlich starke Neigung nach dem Herde zu, wie besonders deutlich in Fig. 297 erkennbar ist. Fast immer liegt der Luftkanal über den Gaskanälen (Seite 146); um die Mischung von Gas und Luft zu erleichtern, lässt man in diesen Fällen gern Gas und Luft unter verschiedenem Winkel eintreten, d. h. man giebt dem Luftkanale einen etwas stärkeren Fall als den darunter liegenden Gaskanälen (Fig. 31 und 295).

Die Wärmespeicher werden gemäss den früher gegebenen Regeln (Seite 138) gebaut.[1]) Ebenso die Gaserzeuger (Seite 107).

Damit das aus dem Stichloche des Ofens strömende Metall von der davor gestellten Giesspfanne aufgenommen werden könne, muss das Stichloch in entsprechender Höhe (gewöhnlich 2 bis 3 m) über dem Fussboden der Martinhütte sich befinden. Noch höher liegen aber die Einsatz- und Arbeitsöffnungen. Um diese bequem zugänglich zu machen, bringt man daher an der Rückseite des Ofens, wo jene Oeffnungen sich befinden, eine Bühne in entsprechender Höhe an, gross genug, um auch die für einen ein- oder mehrmaligen Einsatz bestimmten Materialien aufnehmen zu können. Die Bühne pflegt aus Trägern mit Eisenblechbelag hergestellt zu werden.

Die Zeitdauer der Schmelzreise eines Martinofens hängt vornehmlich von der Haltbarkeit des Herdes und der Decke ab. Man pflegt durch Ausbesserungen des Herdes ihn, sofern es möglich ist, so lange

1) Ueber eine besondere Anordnung der Wärmespeicher zu dem Zwecke, den Köpfen der Oefen eine grössere Haltbarkeit zu verleihen (Schönwalders Patent) vergleiche „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 989.

benutzungsfähig zu erhalten, bis auch die Decke einer Erneuerung bedarf und der Ofen aus diesem Grunde ohnehin kalt gelegt werden muss. Sind jene Theile sachgemäss hergestellt, so pflegen sie mindestens 150 Einsätze auszuhalten; nicht selten reichen sie für 300 bis 400 Einsätze aus, bisweilen für 600 Einsätze und darüber.[1]) Bei Darstellung kohlenstoffarmen Eisens werden die Oefen wegen der erforderlichen höheren Temperatur stärker angegriffen, als bei Herstellung von Stahl, bei reichlichem Erzzusatze leidet der Herd stärker als bei geringem oder gar keinem Zusatze. Magnesitherde haben sich besonders gut bei der Arbeit mit Erzen bewährt.[2])

Dass die Decke sehr kleiner Oefen einer verhältnissmässig raschen Zerstörung zu unterliegen pflege, wurde schon früher erwähnt.

Statt der beschriebenen Oefen mit festliegendem Herde sind mitunter — zumal in Nordamerika — Oefen mit beweglichem Herde in Anwendung gekommen. Man beabsichtigt dabei, theils die Mischung der auf dem Herde befindlichen Körper zu erleichtern, theils die Erwärmung des Herdes zu befördern, indem man die Herdoberfläche abwechselnd der Berührung durch die Flamme preisgiebt und dann wieder untertauchen lässt, theils auch die Möglichkeit zu gewinnen, das Stichloch freizulegen und an der Innenseite des Ofens zugänglich zu machen, indem man den Herd so dreht, dass es oberhalb des Bades zu liegen kommt.

Mehrfach hat man sich des Pernotofens (Seite 156), welcher in diesem Falle mit Siemensfeuerung versehen wird, für das Martinverfahren bedient.[3]) Als einen Nachtheil dieses Ofens führt man die verhältnissmässig geringe Haltbarkeit des Herdes und der Decke an, sowie den Umstand, dass beim Durchbrennen des Herdes auch die kostspielige Bewegungsvorrichtung leicht beschädigt werde.[4])

Ein anderer Ofen mit beweglichem Herde wurde durch Campbell gebaut und ist seit mehreren Jahren auf einigen nordamerikanischen Eisenwerken in Benutzung.[5]) Der Herd sammt den Seitenwänden und der Decke ist auf Rollen gelagert und lässt sich zwischen den feststehenden Köpfen nach Art einer Wiege hin- und herschwingen. Von einem Wasserdruckcylinder aus wird durch Vermittelung einer Lenkstange die Bewegung übertragen. Wenn der Ofen aufrecht steht, befindet sich das Stichloch oberhalb des Metalls und der Schlacke; wenn das Schmelzen beendet ist, wird er gekippt, und die flüssigen Massen fliessen aus.

Die schon auf Seite 156 erwähnten Nachtheile aller Drehöfen — insbesondere die höheren Kosten für ihre Anlage und Unterhaltung — gelangen auch bei ihrer Verwendung für das Martinverfahren zur Geltung; die Vortheile, welche durch ihre Benutzung sich ergeben, sind

1) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 192; 1893, Seite 258, 303, 480.

2) Die Kosten des Materialverbrauches bei Herstellung eines Magnesitherdes für einen 10 t-Ofen berechnet Sorge zu 2025 Mark, die Ausbesserungskosten nach jedem Einsatze zu 23 Mark. („Stahl und Eisen" 1887, Seite 855.)

3) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 191.

4) Ebendas. 1893, Seite 870.

5) Abbildung: „Stahl und Eisen" 1892, Seite 1028.

nur selten erheblich genug, einen Ausgleich zu schaffen. Daher wird voraussichtlich auch in künftiger Zeit die Anwendung feststehender Oefen die Regel, die Anwendung von Drehöfen eine Ausnahme bilden.

c) Das Arbeitsverfahren.

Hat der Ofen kalt gelegen, so muss er zunächst angeheizt und auf die zum Schmelzen erforderliche Temperatur gebracht werden, wozu ein Zeitraum von mindestens 48 Stunden erforderlich zu sein pflegt. Noch länger währt es, wenn der Ofen frisch zugestellt war; durch ein gelindes Feuer muss in diesem Falle zunächst ein völliges Austrocknen bewirkt werden, ehe das eigentliche Anheizen beginnen kann. War der Ofen dagegen schon im vollen Betriebe, so wird nach beendigtem Abstechen der Herd nachgesehen und an den schadhaft gewordenen Stellen ausgebessert.

Nun folgt das Einsetzen. Beim sauren Verfahren in kleinen Oefen pflegt man zunächst nur das Roheisen einzusetzen und erst, wenn dieses geschmolzen ist, das schmiedbare Eisen nach und nach zuzusetzen, so dass es sich in dem bereits geschmolzenen Metalle löst. Man beabsichtigt dadurch eine Abkühlung des Ofens zu vermeiden und das schmiedbare Eisen vor starker Verbrennung zu schützen, welche eintreten würde, wenn es lange Zeit im ungeschmolzenen Zustande der Berührung der Flamme preisgegeben wäre. Bei grösseren Oefen dagegen, zumal beim basischen Verfahren, pflegt man zur Abkürzung des Schmelzens schon mit dem Roheisen einen Theil des schmiedbaren Eisens, bisweilen auch alles schmiedbare Eisen, einzusetzen. Das Verfahren wird dadurch abgekürzt. Die Gefahr einer Verschlackung des Eisens ist im basischen Ofen geringer als im sauren.

Das Einsetzen erfolgt durch Handarbeit oder, zumal bei grossen Oefen, mit Maschinen. Bei der Handarbeit bedient man sich einer breiten Schaufel, welche auf die Schwelle der Einsatzthür gebracht, dann beladen und durch den Schmelzer in den Ofen geschoben wird, um hier an geeigneter Stelle entleert zu werden. Ein Schmelzer mit zwei Gehülfen vermag auf diese Weise in vier bis fünf Minuten 1 t Eisen in grösseren Stücken (Roheisen) einzubringen; kleinere Stücke werden ohne Weiteres eingeworfen. Ziemlich verschiedenartig sind die mechanischen Vorrichtungen, deren man sich für diesen Zwek zum Ersatze der Handarbeit bedient. Gewöhnlich wird der zu gebende Einsatz zuvor in einen oben offenen Eisenblechkasten gebracht und dann, wenn das Einsetzen stattfinden soll, auf einem Wagen bis unmittelbar an die Thürschwelle gefahren. Eine durch Wasserdruck in wagerechter Richtung bewegliche Stange, welche auch in senkrechter Richtung etwas verstellbar ist, wird nun in einfacher Weise an der Rückseite des Kastens befestigt, etwas angehoben, mit dem Kasten in den Ofen geschoben und um ihre Achse so weit gedreht, dass Entleerung des Kastens stattfindet, worauf man die Stange nebst dem Kasten sofort zurückzieht, um erforderlichen falls dieselbe Arbeit mit einem zweiten Kasten zu wiederholen. Der Wasserdruckcylinder, an dessen Kolben jene Stange angeschlossen ist, kann, um an verschiedenen Oefen Verwendung zu finden,

auf einem Wagen angeordnet sein oder durch einen Laufkrahn bewegt werden und durch bewegliche Röhren das Druckwasser von einem Sammler erhalten.[1]) Ein 15 t-Ofen lässt sich auf diese Weise in 10 bis 15 Minuten beschicken.

Bei dem basischen Verfahren ist ein Kalkzuschlag erforderlich, welcher vor dem Eisen auf den Herd gebracht zu werden pflegt. Man benutzt entweder rohen Kalkstein oder gebrannten Kalk. Ersterer ist billiger, aber seine Zerlegung erheischt einen Wärmeverbrauch im Ofen. Bei Verwendung rohen Kalksteins pflegt das Gewicht des Zusatzes 6 bis 12 Hunderttheile vom Gewichte des einzusetzenden Eisens zu betragen, bei Verwendung gebrannten Kalkes gebraucht man entsprechend weniger. Die Höhe des Zusatzes muss sich vornehmlich nach dem Phosphor- und Siliciumgehalte des Einsatzes richten. Ein zu reichlicher Kalkzuschlag würde die Entstehung einer strengflüssigen, steifen Schlacke bewirken und muss aus diesem Grunde vermieden werden.

Arbeitet man mit reichlichem Erzzusatz, so pflegt man den grössten Theil des Erzes ebenfalls schon mit dem Metalle in den Ofen zu bringen, den Rest aber nach und nach dem schon geschmolzenen Metalle zuzusetzen. Um die Menge der entstehenden Schlacke nicht unnöthig zu vermehren, verwendet man thunlichst reiche Erze, Magnet- oder Rotheisenerze. Auch Hammerschlag oder Walzsinter finden nicht selten für diesen Zweck Benutzung. Ein Schwefelgehalt der Erze kann durch Uebergang an das Eisen nachtheilig werden; ein Phosphorgehalt kann nur beim sauren Verfahren Schaden bringen. Die Höhe des Erzzusatzes bewegt sich zwischen Null bis etwa 50 Hunderttheile vom Metallgewichte und steigt mit dem Roheisenzusatze. Selten verwendet man jedoch mehr Erz als 20 Hunderttheile des Eisengewichtes; häufiger noch begnügt man sich, nach beendigtem Einschmelzen die Entkohlung durch Einwerfen kleiner Erzmengen zu beschleunigen, und der Verbrauch an Erz beträgt dann nicht mehr als 2 bis 4 Hunderttheile des Eisens.[2])

Sehr verschieden ist auch das Verhältniss des eingesetzten Roheisens zum schmiedbaren Eisen. Die Preise dieser Eisengattungen geben hierfür den Ausschlag. Während in manchen Fällen jenes Verhältniss nicht höher ist als 1 : 19 (also nur ein Zwanzigstel des Einsatzes aus Roheisen besteht), hat man in anderen Fällen — allerdings nur vereinzelt, wie bereits erwähnt wurde — dem Zusatze von schmiedbarem Eisen ganz entsagt und nur Roheisen mit Erzzusatz geschmolzen. Der Nachtheile dieses Verfahrens (geringe Erzeugung, hoher Brennstoffaufwand und rasche Abnutzung des Ofens) wurde schon oben gedacht. Auch der in's Auge gefasste Kohlenstoffgehalt des Erzeugnisses spricht bei der Bemessung des Roheisenzusatzes mit; je kohlenstoffreicher das Erzeugniss werden soll, desto mehr Roheisen pflegt man zuzusetzen. In den meisten Fällen enthält der Einsatz 20 bis 50 Theile Roheisen neben 80 bis 50 Theilen schmiedbarem Eisen, letzteres aus Abfällen

1) Abbildungen einiger solcher Vorrichtungen: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 305.

2) Das Verfahren des Erzzusatzes beim Martinschmelzen ist zuerst durch Fr. Siemens auf den Landore-Eisenwerken angewendet worden. Man nennt daher, insbesondere in Grossbritannien und Frankreich, das Schmelzen mit Erzen bisweilen Landore-Verfahren.

von Schienen, Blechen und sonstigen Erzeugnissen, Ausschussstücken und Alteisen jeder Art bestehend.[1])

Je höher der Roheisensatz ist, desto stärkeres Frischen ist erforderlich. Versuche, in anderer Weise als durch Erzzusatz die Kohlenstoffverbrennung zu beschleunigen, sind mehrfach angestellt worden, ohne dauernden Erfolg zu erlangen. Man hat Gebläsewind in das geschmolzene Metall geführt[2]); oder man hat auch das unmittelbar vom Hochofen kommende Roheisen zunächst in einer Bessemerbirne einige Minuten lang gefrischt und dann erst dem Martinofen zugeführt.[3]) Das ganze Verfahren aber wird hierdurch umständlicher, die Anlage- und Unterhaltungskosten der erforderlichen Vorrichtungen werden gesteigert. Nach längerer oder kürzerer Zeit ist man deshalb fast überall, wo ein derartiger Betrieb eingeführt worden war, zu dem gewöhnlichen Verfahren zurückgekehrt.

Nicht unerhebliche Abweichungen zeigt endlich auch die chemische Zusammensetzung des angewendeten Roheisens. Ein Siliciumgehalt verzögert zwar die Entkohlung, aber die Verbrennung des Siliciums bewirkt ein heisses Einschmelzen (Seite 891) und erleichtert hierdurch das Verfahren. Gewöhnlich benutzt man ein Roheisen mit 0,75 bis 1,5 Hunderttheilen Silicium; auf basischem Herde würde die Verwendung eines sehr siliciumreichen Roheisens die Gefahr einer rascheren Zerstörung des Herdes nahe legen. Ein Mangangehalt verzögert zwar ebenfalls die Entkohlung, ist aber in mehrfacher Hinsicht nützlich. Er verhindert, so lange er noch im Eisen anwesend ist, die Aufnahme von Eisenoxydul, also die Entstehung von Rothbruch, und das entstehende Manganoxydul befördert sowohl im sauren als im basischen Ofen die Entstehung einer ausreichend dünnflüssigen Schlacke. Besonders förderlich ist ein einigermaassen hoher Mangangehalt des Roheisens bei der Stahlerzeugung, wo es mehr noch, als bei der Darstellung weichen Eisens, darauf ankommt, die Aufnahme von Eisenoxydul zu hindern, und wo ohnehin eine allzu beträchtliche Entkohlung vermieden werden soll. Man pflegt Roheisen mit 1 bis 4 Hunderttheilen Mangan zu verwenden. Fehlt es dem eigentlichen Roheisen an Mangan, so setzt man wohl Spiegeleisen zu.

Im Uebrigen kommt auch bei der Auswahl des Roheisens dessen Gewichtsverhältniss zum schmiedbaren Eisen in Betracht. Je weniger Roheisen man zusetzt, desto höher muss unter übrigens gleichen Verhältnissen sein Silicium- und Mangangehalt sein. Ermittelt man den

1) Beispiele der Einsätze auf verschiedenen Werken findet man in zahlreichen Abhandlungen mitgetheilt; z. B. „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 249; „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 399; Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 32, und anderwärts mehr.

2) Würtembergers Verfahren: Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 293; auch D. R.-P. Nr. 13679. Ueber eine von Ponsard in Thy-le-Château zu demselben Zwecke bei einem Pernotofen angebrachte Windzuführung findet man Näheres in A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Pariser Weltausstellung 1878, Seite 197.

3) Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1890, Seite 262. In Witkowitz hatte das in der erwähnten Weise behandelte Roheisen während zwei Minuten langem Blasen seine Zusammensetzung folgendermaassen geändert:

	C	Si	Mn
Vor dem Blasen . .	3,39	0,95	1,77
Nach „ „ . .	3,03	0,26	0,75

durchschnittlichen Gehalt des ganzen Einsatzes, so findet man gewöhnlich einen Siliciumgehalt von 0,4 bis 0,8, einen Mangangehalt von 0,8 bis 1,4 Hunderttheilen, daneben 1,0 bis 1,6 Hunderttheile Kohlenstoff.

Der Phosphorgehalt des Roheisens für das saure Verfahren sollte niemals mehr als 0,1 Hunderttheil betragen, zumal wenn auch phosphorhaltiges Alteisen (z. B. Schweisseisen) verarbeitet wird. Für das basische Verfahren würde sich zwar ein Roheisen mit beliebig hohem Phosphorgehalte verwenden lassen, sofern der Kalkzusatz reichlich genug bemessen und das Schmelzen ausreichend lange fortgesetzt wird; in Rücksicht auf die Nachtheile jedoch, welche eine solche Verzögerung des Schmelzens mit sich bringt, zieht man es auch hier gewöhnlich vor, ein phosphorärmeres Roheisen (Phosphorgehalt 0,1 bis 0,5 Hunderttheile) zur Anwendung zu bringen. Der Preisunterschied zwischen phosphorreicherem und phosphorärmerem Roheisen muss hier entscheiden, welches das geeignetste sei.

Der Schwefelgehalt des Roheisens muss sowohl beim sauren als beim basischen Verfahren thunlichst niedrig sein (unter 0,1 Hunderttheil), da eine Schwefelabscheidung bei dem sauren Verfahren fast gar nicht, bei dem basischen Verfahren nur in beschränktem Maasse stattfinden kann.[1]) Ebenso muss der Gehalt des Roheisens an Kupfer, Arsen, Antimon sich innerhalb der beim schmiedbaren Eisen zulässigen Grenzen halten, da im Martinofen so wenig als bei anderen Frischverfahren eine Abscheidung dieser Körper stattfindet.

Während des Schmelzens hat der Schmelzer darüber zu wachen, dass keine Ansätze ungeschmolzener Massen sich bilden; wichtig ist auch die Regelung des Gas- und Luftstromes. Je weiter die Entkohlung fortschreitet, desto höher steigt die Schmelztemperatur des Metalls, desto nothwendiger wird eine hohe Temperatur im Ofen. Von Zeit zu Zeit wird das Metall mit langen eisernen Stangen durchgerührt, um eine bessere Mischung der Bestandtheile zu bewirken; besonders nothwendig ist dieses Durchrühren dann, wenn dem zuerst eingesetzten und geschmolzenen Metalle fernere Zusätze (Alteisen, Erze) gegeben werden.

Die stattfindende Kohlenstoffverbrennung verräth sich durch ein Aufsteigen von Gasblasen aus dem geschmolzenen Metalle, einem förmlichen Kochen des letzteren. Mit Benutzung eines blauen Glases zum Schutze der Augen gegen die im Ofen herrschende Weissgluth verfolgt man die Erscheinungen im Ofen, und wenn das Kochen aufgehört hat oder doch erheblich nachlässt, nimmt man die erste Probe. Mit einer Schöpfkelle entnimmt man dem Bade einige Kilogramm Metall und giesst sie in eine eiserne Gussform aus. Das Verhalten des Metalls hierbei, das Funkensprühen, Aufblähen oder Lungern beim Erstarren, giebt den ersten Anhalt für die Beurtheilung. Der erhaltene kleine Block wird nunmehr unter einem Dampfhammer rasch ausgeschmiedet und dann einer Kaltbiegeprobe unterworfen. Beim sauren Verfahren pflegt man einen Stab von etwa 15 mm Stärke zu schmieden, ihn heiss abzulöschen und kalt zu biegen. Ist die Entkohlung weit fortgeschritten,

1) Mitunter ist sogar eine Schwefelaufnahme bemerkbar. Näheres hierüber bei Besprechung der chemischen Vorgänge beim Martinverfahren.

so erträgt er eine Biegung um 180 Grad, bei minder starker Entkohlung bricht er vorzeitig. Beim basischen Verfahren pflegt man eine kreisrunde Scheibe zu schmieden und sie nach dem Ablöschen kalt ein- oder zweimal zusammen zu falten. Sie muss diese Behandlung ertragen, ohne Risse zu bekommen.

Auch das Bruchaussehen der Proben, welche zu diesem Zwecke an einem Ende absichtlich gebrochen werden, dient dem geübten Auge als zuverlässiges Merkmal für die stattgehabte Entkohlung oder Entphosphorung. Beim sauren Verfahren werden die ausgeschmiedeten und abgelöschten Proben bei länger fortgesetztem Schmelzen wegen der fortschreitenden Entkohlung grobkörniger, beim basischen Verfahren dagegen wegen der fortschreitenden Entphosphorung feinkörniger. Nach dem Ausfalle dieser Versuche richten sich die weiteren Maassnahmen. War der Ausfall befriedigend, so folgt der in jedem Falle unentbehrliche Zusatz von Spiegeleisen oder Eisenmangan; erwies sich dagegen das Metall noch zu kohlenstoff- oder phosphorreich, so wird das Schmelzen fortgesetzt, bisweilen auch wohl noch etwas Eisenerz oder Kalk (beim basischen Verfahren) zugesetzt, bis eine neue Probe zeigt, dass nunmehr die gewünschte Beschaffenheit erreicht ist.

Für die Wahl des manganhaltigen Zusatzes und für dessen Gewichtsverhältniss zum Gewichte des Einsatzes sind ähnliche Rücksichten maassgebend wie beim Bessemer- und Thomasverfahren (Seite 893). Für Darstellung weichen Eisens, welches zum Verwalzen bestimmt ist, pflegt man nicht mehr als 0,5 bis 1 Hunderttheil Eisenmangan (mit 50 bis 80 Hunderttheilen Mangan) zuzusetzen, bei Darstellung härteren Eisens oder Stahles giebt man 1 bis 3 Hunderttheile Zusatz. Bei der Arbeit im basischen Ofen pflegt unter übrigens ähnlichen Verhältnissen der Zusatz geringer als bei der Arbeit im sauren Ofen bemessen zu werden, da bei ersterer gewöhnlich ein reichlicherer Theil des im Einsatze enthaltenen Mangans unverbrannt im Eisen zurückbleibt. Nicht selten wird zur Erzielung dichterer Güsse neben dem Eisenmangan etwas Siliciumeisen zugesetzt, z. B. 0,5 Hunderttheile Eisenmangan und ebensoviel Siliciumeisen. In verhältnissmässig reichlicher Menge pflegt man diese Zusätze zu geben, wenn das Erzeugniss für Formgussdarstellung bestimmt ist. Gewöhnlich bringt man die Zusätze im angewärmten Zustande in den Ofen, wo sie unter Umrühren gelöst werden; auf einigen Werken dagegen setzt man sie erst in der Giesspfanne zu, obgleich zu befürchten ist, dass die Mischung hierbei weniger gleichartig ausfalle.[1]) Ein Aluminiumzusatz, falls dieser zweckmässig erscheint, wird in jedem Falle erst nach dem Abstechen gegeben.

Wenn Alles fertig ist, wird das Stichloch geöffnet und der Ofeninhalt in die davor gebrachte Giesspfanne abgelassen; dann wird der Herd nachgesehen, ausgebessert, und ein neues Schmelzen kann beginnen. Soll nur ein Theil des erzeugten Metalls für Erzeugung von Blöcken, ein anderer dagegen für Formgussdarstellung benutzt werden, so pflegt man zunächst die Blöcke zu giessen, dann einen erneuten Zusatz zu geben und nun erst die übrigen Gussformen zu füllen.

1) Campbell bestreitet die Berechtigung dieses Einwandes. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 874.

d) Der chemische Verlauf des Martinschmelzens.

Veränderungen der Zusammensetzung des Eisens.

Im Wesentlichen erstreckt sich der Verlauf auf eine allmählich fortschreitende Verbrennung des Kohlenstoffs, Siliciums, Mangans und beim basischen Verfahren des Phosphors. Unterschiede sind indess bedingt theils durch die herrschende Temperatur, theils durch die Beschaffenheit des Herdes, ob basisch oder sauer.

Die Temperatur im Ofen ist stets verhältnissmässig hoch; daher pflegt ein Theil des im Einsatze anwesenden Kohlenstoffgehaltes schon beim Einschmelzen zu verbrennen, auch wenn Silicium und Mangan daneben zugegen sind. Auf basischem Herde verläuft die Kohlenstoffverbrennung rascher als auf saurem (Seite 923).

Die Verbrennung des Siliciums wird ebenfalls durch die auf basischem Herde bei Kalkzuschlag entstehende basische Schlacke befördert. Nach beendigtem Einschmelzen auf basischem Herde pflegt der Siliciumgehalt des Einsatzes bereits annähernd vollständig ausgetreten zu sein. Auf saurem Herde dagegen kann es geschehen, dass, zumal in sehr hoher Temperatur, noch am Ende des Verfahrens 0,1 Hunderttheil Silicium oder darüber im Metalle zurückgeblieben sind [1]), und wie beim Bessemerverfahren kann schliesslich durch den Manganzusatz wieder Silicium reducirt werden. Erzzusatz befördert die Ausscheidung des Siliciums.

In entgegengesetztem Sinne als Silicium wird Mangan durch die Beschaffenheit des Herdes beeinflusst: auf saurem Herde wird die Verbrennung befördert, auf basischem Herde verzögert. Selbst wenn der Kohlenstoffgehalt auf weniger als 0,1 Hunderttheil gesunken ist, können bei der basischen Arbeit noch 0,3 Hunderttheile Mangan oder darüber im Metalle anwesend sein, sofern ein entsprechend manganreicher Einsatz verarbeitet wurde. Auch bei Erzzusatz pflegt auf basischem Herde ein Theil des Mangans vom flüssigen Metalle zurückgehalten zu werden, um so mehr, je höher die Temperatur ist und je stärker demnach der noch anwesende Kohlenstoff auf das Erz wirkt.

Der Phosphorgehalt des Einsatzes pflegt beim basischen Verfahren trotz der hohen Temperatur schon beim Einschmelzen theilweise zu verbrennen, wenn man neben dem Roheisen bereits schmiedbares Eisen eingesetzt und dadurch den durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt erniedrigt hatte. Mit der Abnahme des Kohlenstoffgehaltes schreitet alsdann die Ausscheidung des Phosphors fort und bei ausreichend lange ausgedehntem Schmelzen würde man im Stande sein, auch aus einem phosphorreichen Einsatze ein sehr phosphorarmes Erzeugniss zu gewinnen; dass man jedoch es meistens vorzieht, mit phosphorärmeren Einsätzen zu arbeiten, um die Zeitdauer abzukürzen, an Brennstoff und Abbrand zu sparen, wurde schon erwähnt.

Der Schwefelgehalt des Einsatzes bleibt beim sauren Verfahren allen vorliegenden Beobachtungen gemäss ziemlich unverändert. Beim

1) Der Einfluss der hohen Temperatur ist hier der nämliche wie beim Bessemerverfahren (Seite 922).

basischen Verfahren kann eine theilweise Schwefelausscheidung durch Uebergang in die Schlacke stattfinden, und dieser Vorgang wird besonders deutlich bei hohem Schwefelgehalte des Einsatzes bemerkbar. Ein Mangangehalt des Einsatzes erleichtert die Entschweflung und bei dem schliesslichen Eisenmanganzusatz pflegt eine erneute Abscheidung des Schwefels einzutreten. Bei der Verarbeitung von 16 Einsätzen mit hohem Schwefelgehalte wurde durch Campbell die jedesmalige Abnahme vor und nach dem Manganzusatze ermittelt[1]), wobei sich folgende Durchschnittsziffern ergaben:

Schwefelgehalt		
des Einsatzes	des entkohlten Metalls vor Eisenmanganzusatz	des Metalls nach Eisenmanganzusatz
0,24	0,09	0,08

Auch die unten gegebenen Beispiele der Veränderungen, welche die Zusammensetzung des Einsatzes beim basischen Verfahren erfährt, lassen diese Schwefelabnahme erkennen. Sind aber die Gase des Martinofens oder das zugesetzte Erz schwefelhaltig, so kann auch, zumal wenn das Bad schwefelarm ist, eine Schwefelaufnahme stattfinden. Campbell beobachtete in einem derartigen Falle eine Schwefelanreicherung von 0,04 auf 0,07 Hunderttheile[1]); bei einem in Hörde verarbeiteten Einsatz estieg der Schwefelgehalt während des Schmelzens von 0,067 auf 0,087 Hunderttheile.[2]) Aehnliche Beobachtungen sind beim Betriebe der basischen Martinöfen häufig gemacht, selten beim Betriebe auf saurem Herde.

Beispiele.

1. Schmelzen auf saurem Herde in der Gutehoffnungshütte im Jahre 1879. Untersuchungen von Kollmann.[3])

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan
Einsatz, bestehend aus 400 kg grauem Roheisen, 4000 kg Flusseisen, 600 kg Schweisseisen	0,497	0,480	0,089	0,016	0,860
7 Stunden nach dem Beginne des Einsetzens; lebhaftes Kochen	0,060	0,150	0,090	0,020	Spur
Nach Zusatz von 300 kg Erz .	0,050	Spur	0,090	0,020	„
„ „ „ 70 kg Eisenmangan mit 60 Hunderttheilen Mangan	0,100	Spur	0,090	0,020	0,370

2. Schmelzen auf saurem Herde in einem nicht genannten Eisenwerke um das Jahr 1890. Mittheilung von Mehrtens.[4])

1) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 872; vollständig sind die Versuche in den Transactions of the American Institute of Mining Engineers 1893 mitgetheilt.
2) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 944.
3) Verh. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1880, Seite 221.
4) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 709.

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan	Kupfer
Einsatz, bestehend aus 3,5 t Roheisen und 7 t schmiedbarem Eisen	1,30	0,77	0,08	0,05	1,28	0,11
Nach 7 Stunden bei höchster Hitze des Bades	0,80	0,35	n. best.	n. best.	0,20	n. best.
Nach abermals 2 Stunden und Zusatz von 600 kg Erz	0,07	0,01	„	„	Spur	„
Nach Zusatz von 135 kg Eisenmangan mit 40 Hunderttheilen Mangan	0,18	0,04	0,08	0,05	0,30	0,11

3. Schmelzen eines Einsatzes mit hohem Phosphorgehalte auf basischem Herde in einem englischen Eisenwerke. Untersuchungen von F. W. Harbord.[1])

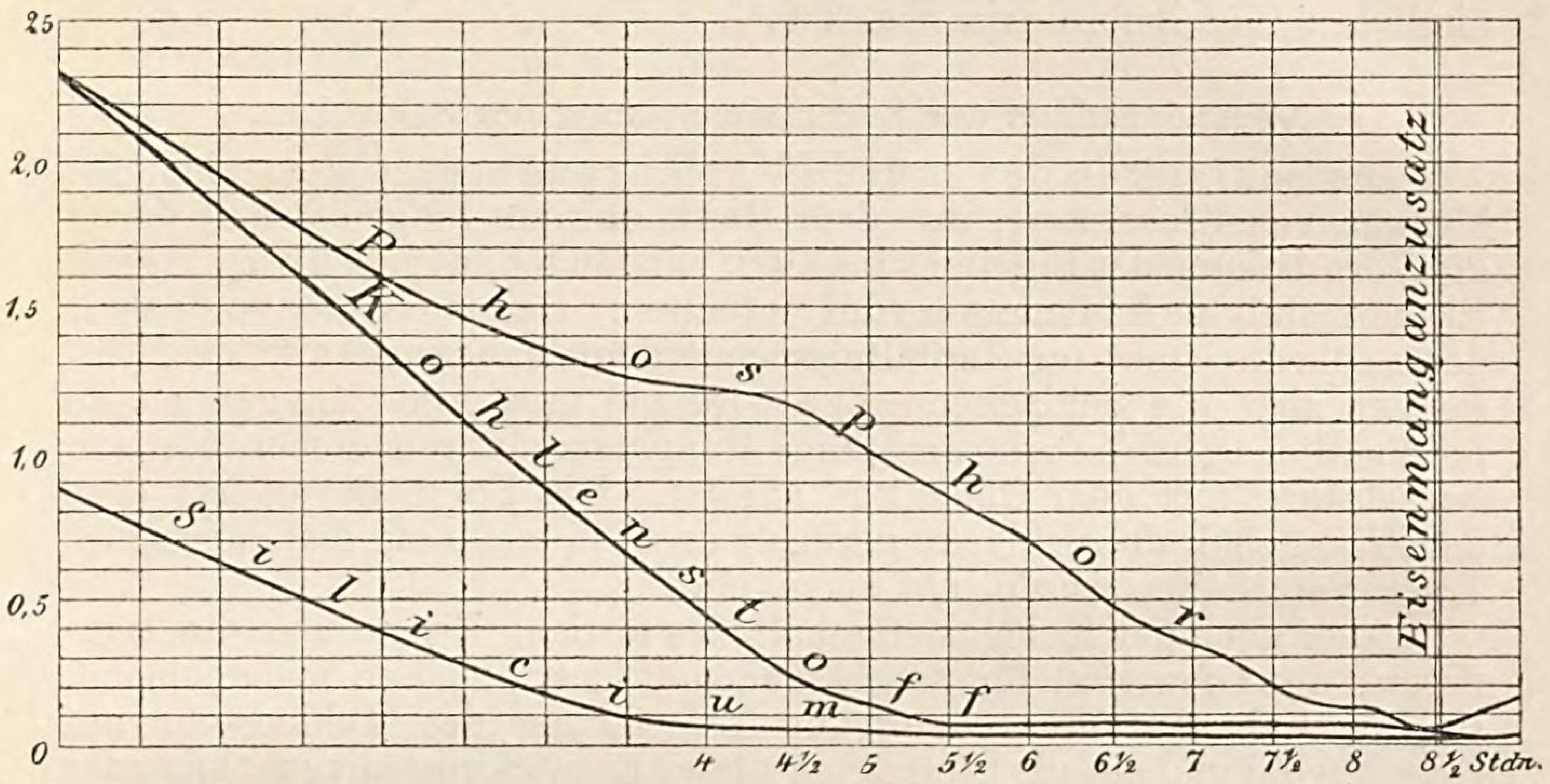
	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan
Einsatz (65 Theile Roheisen, 35 Theile schmiedbares Eisen) .	2,300	0,870	2,300	0,230	0,960
Nach 4 Stunden; Einschmelzen beendigt	0,420	0,060	1,220	0,230	0,080
Nach abermals 1/2 Stunde . .	0,230	0,070	1,180	0,213	0,060
„ „ 1/2 „ . .	0,178	0,070	1,000	0,206	0,088
„ „ 1/2 „ . .	0,094	0,050	0,840	0,183	0,062
„ „ 1/2 „ . .	0,075	0,040	0,700	0,170	0,064
„ „ 1/2 „ . .	0,070	0,045	0,480	0,165	0,060
„ „ 1/2 „ . .	0,060	0,050	0,330	0,157	0,085
„ „ 1/2 „ . .	0,050	0,045	0,192	0,160	0,065
„ „ 1/2 „ . .	0,045	0,025	0,116	0,137	0,080
„ „ 1/2 „ . .	0,050	0,010	0,085	0,130	0,051
Nach Eisenmanganzusatz . .	0,130	Spur	0,065	0,125	0,510

Die Analysenreihe zeigt deutlich die allmähliche Abnahme des ursprünglichen hohen Phosphorgehaltes, von welchem schon während des vierstündigen Einschmelzens fast die Hälfte ausgetreten ist, worauf dann die Entphosphorung annähernd gleichmässig fortschreitet. Auch eine allmähliche Abnahme des ursprünglichen, verhältnissmässig hohen Schwefelgehaltes ist deutlich erkennbar; trotzdem ist das Erzeugniss schwefelreicher geblieben, als für ein gut schmiedbares Flusseisen wünschenswerth ist. Recht erheblich ist hier auch die Menge des während des Einschmelzens verbrannten Kohlenstoffs, was auf eine sehr hohe Temperatur im Ofen schliessen lässt; bei einer anderen, von demselben Forscher angestellten Untersuchung[2]) verringerte sich der Kohlenstoffgehalt während des Einschmelzens nur auf 1,76 Hunderttheile, während der sonstige Verlauf ziemlich genau den obigen Ziffern entsprach. Eine Aufzeichnung der Schaulinien des Verhaltens des Kohlenstoffs, Phosphors und Siliciums nach Maassgabe der mitgetheilten Analysen giebt das in Fig. 299 dargestellte Bild. Die Manganlinie würde in diesem Falle sich annähernd mit der Siliciumlinie decken

1) The Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, p. 700.
2) Ausführlich in der genannten Abhandlung mitgetheilt.

und ist deshalb nicht besonders gezeichnet. Ein Vergleich der dargestellten Linien des Thomasverfahrens (Fig. 292, 293, 294 auf Seite 930 bis 932) lässt die Unterschiede der chemischen Eigenthümlichkeiten erkennen, zumal wenn man berücksichtigt, dass die gesammte Zeitdauer des Martinverfahrens etwa das Fünfundzwanzigfache von der Zeitdauer des Thomasverfahrens ausmacht.

Fig. 299.



4. Schmelzen eines Einsatzes mit niedrigem Phosphorgehalte auf basischem Herde in einem nicht genannten Eisenwerke um das Jahr 1890. Mittheilung von Mehrtens.[1])

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan	Kupfer
Einsatz, bestehend aus 2,5 t Roheisen und 5 t Bessemerschienenenden	1,48	0,32	0,09	0,03	1,37	0,11
Nach 4 Stunden bei höchster Temperatur des Bades	0,82	0,01	0,06	0,03	0,37	0,11
Nach weiteren 70 Minuten und 230 kg Erzzusatz	0,09	0,005	0,03	0,03	0,35	0,11
Nach Zusatz von 50 kg Eisenmangan mit 40 Hunderttheilen Mangan	0,15	0,009	0,03	0,02	0,53	0,11

Der Kohlenstoff verbrennt hier im Anfange etwas weniger rasch als in Beispiel 3; vermuthlich war die Temperatur nicht ganz so hoch wie in jenem Falle. Silicium verbrennt rasch und vollständig; der Phosphorgehalt verringert sich zusehends mit dem Fortschreiten der Entkohlung. Von dem höheren Mangangehalte des Einsatzes aber bleibt eine reichlichere Menge als bei dem vorigen Beispiele auch in dem entkohlten Metalle zurück. Das abweichende Verhalten des Mangans bei dem

1) Wie Beispiel 2.

sauren und basischen Verfahren lässt sich besonders deutlich erkennen, wenn man die Beispiele 2 und 4 mit einander vergleicht. Dort brennt der Mangangehalt ziemlich vollständig weg, hier hinterbleiben noch 0,35 Hunderttheile Mangan; die Folge davon ist, dass auch das Enderzeugniss bei dem basischen Verfahren trotz des spärlicher bemessenen Eisenmanganzuschlages manganreicher ausfällt als bei dem sauren Verfahren.[1])

Eine Verzeichnung der Schaulinien des Beispieles 4 würde ein ähnliches Bild liefern wie Fig. 299.[2])

Veränderungen der Zusammensetzung der Schlacken.

Die Schlacken des sauren Verfahrens müssen stets reichliche Mengen von Kieselsäure, aus dem Herdmateriale aufgelöst und durch die Verbrennung des Siliciums im Eisen entstanden, daneben vorwiegend Eisenoxydul- und Manganoxydul enthalten. Der Manganoxydulgehalt der Schlacke steht im Verhältnisse mit dem Mangangehalte des Einsatzes; aber die Schlackenmenge wird bei grösserem Mangangehalte beträchtlicher, da die grössere Menge Manganoxydul reichlichere Mengen Kieselsäure aus dem Ofenfutter auflöst. Die Folge davon ist, dass der Eisengehalt der Schlacke geringer ausfällt, wenn ein manganreiches Eisen verarbeitet wurde, als umgekehrt.

Aber auch der Kohlenstoffgehalt des fertigen Eisens und die Temperatur im Ofen sind für den Eisengehalt der Schlacke maassgebend. In Rücksicht auf die reducirende Einwirkung des Kohlenstoffs auf Eisenoxydul und auf die Steigerung dieser Einwirkung mit zunehmender Temperatur muss der Eisengehalt der Schlacke um so niedriger ausfallen, je kohlenstoffreicher das fertige Eisen und je heisser der Ofen ist.

Auch bei der Arbeit mit Erzen ist die Zusammensetzung der Schlacke, insbesondere ihr Eisengehalt, nicht erheblich anders als ohne Erzzusatz. Das aus den Erzen unreducirt zurückbleibende Eisenoxydul löst eben aus dem Herdfutter so viel Kieselsäure auf, bis die Zusammensetzung der Schlacke mit der herrschenden Temperatur und dem Kohlenstoffgehalte des erzeugten Eisens im Einklange steht.

Eisenoxyd (Fe_2O_3) kann in den Schlacken des sauren Martinbetriebes ebensowenig als in Bessemerschlacken zugegen sein.[3]) In der hohen Temperatur wie bei der stärkeren Verwandtschaft der Kieselsäure zum Eisenoxydul ist eben das Eisenoxyd wenig beständig, und die reducirenden Einwirkungen des Kohlenstoff-, Silicium- und Mangangehaltes im Eisen müssen zu allererst die Umwandlung des Oxydes zu Oxydul herbeiführen, falls solches etwa durch Zusatz (Erze) in den

1) Bei dem sauren Verfahren wurden einem Einsatze von 10,5 t Gewicht 135 kg Eisenmangan, also 1,3 Hunderttheile zugesetzt, bei dem basischen Verfahren betrug der Zusatz 50 kg auf einen Zusatz von 7,5 t, also 0,65 Hunderttheile.

2) Sonstige chemische Untersuchungen über die Veränderungen der Zusammensetzung des Eisens im Martinofen sind unter anderem mitgetheilt in „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 259 und 260 (saures Verfahren); 1891, Seite 549, oder Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 33 (basisches Verfahren); Bulletin de la société de l’industrie minérale, série 3, tome III (1889), Seite 1477 (basisches Verfahren).

3) Bei langsamer Abkühlung der Schlacke unter Luftzutritt können kleine Mengen Eisenoxyd entstehen.

Ofen gebracht worden ist. Die Veränderungen, welche die Zusammensetzung der Schlacken während des Schmelzens erfährt, sind zum Theil durch die Menge und die Beschaffenheit der bei der Arbeit gegebenen Zusätze (Alteisen, Erze), theils durch den Wechsel der Temperatur bedingt. Im Anfange werden Eisen und Mangan verbrannt, und die zuerst entstehende Schlacke pflegt demnach ziemlich reich an Eisen und Manganoxydul zu sein. Die Temperatur steigt gewöhnlich bei fortgesetztem Schmelzen, und die Schlackenmenge wächst infolge der Auflösung von Kieselsäure aus dem Herde; der Gehalt an Eisen- und Manganoxydul pflegt mithin abzunehmen, der Gehalt an Kieselsäure steigt. Je heisser der Ofen ist, desto reicher an Kieselsäure fällt demnach die Schlacke aus. Wird schliesslich Eisenmangan zugesetzt, dessen Mangangehalt theilweise in die Schlacke geht, so pflegt diese wieder etwas manganreicher und entsprechend eisenärmer zu werden.

Beispiele.

Schlacken und Eisenproben bei zwei Schmelzen desselben Ofens.[1])	Kohlenstoffgehalt des Eisens	Schlacke				
		Kieselsäure	Thonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul	Kalkerde
Erstes Schmelzen.						
Nach dem Einschmelzen des ersten, aus 3600 kg Roheisen und 1000 kg Schienenenden bestehenden Einsatzes . . .	1,13	42,56	1,46	28,39	27,47	n. best.
Nach dem Einschmelzen des zweiten, aus 4000 kg schmiedbaren Eisens bestehenden Einsatzes	0,69	42,94	1,53	22,23	31,47	„
Nach dem Einschmelzen des dritten, aus 3900 kg Altschienen bestehenden Einsatzes	0,27	48,03	1,76	18,48	30,15	0,78
1 Stunde später	0,20	47,87	2,34	19,53	29,99	n. best.
Wiederum 80 Minuten später; vor Eisenmanganzusatz	0,12	48,90	2,01	19,37	28,88	„
Nach Eisenmanganzusatz (120 kg) . .	0,31	49,63	n. best.	20,89	25,42	„
Zweites Schmelzen.						
Nach dem Einschmelzen des ersten, aus 3400 kg Roheisen und 2200 kg Flusseisen bestehenden Einsatzes	1,46	42,13	1,57	35,19	20,37	0,70
Nach dem Einschmelzen des zweiten, aus 4400 kg schmiedbaren Eisens bestehenden Einsatzes	1,10	49,56	1,96	32,25	14,44	n. best.
Nach dem Einschmelzen des dritten, aus 3000 kg Altschienen bestehenden Einsatzes	0,62	50,06	1,84	28,92	18,14	„
2 Stunden später, nach Zusatz von 100 kg Rotheisenerz	0,19	57,43	2,66	18,29	17,28	3,01
Nach Eisenmanganzusatz (120 kg) . .	0,37	59,07	1,85	19,99	14,68	3,18

1) Martinofen des Grazer Südbahn-Walzwerkes im Jahre 1883. Die Untersuchungen sind von mir angestellt und zuerst in „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 259 und 260, mitgetheilt.

Die Analysen lassen die Abweichungen erkennen, welche die Zusammensetzung der unter ganz ähnlichen Verhältnissen, nur in abweichender Temperatur des Ofens und bei etwas verschiedener Zusammensetzung des Einsatzes erfolgten Schlacken besitzen kann.

Eine Ergänzung hierzu können auch die folgenden Analysen von Endschlacken des sauren Martinverfahrens bilden.

		Kieselsäure	Thonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul	Eisenoxyd	Gesammter Eisengehalt	Kalkerde, Magnesia
Eigene Untersuchungen.	Aus einem für Versuche bestimmten 1 t-Ofen in Riesa bei Darstellung von Eisen mit 0,18 Hunderttheilen Kohlenstoff ohne Erzzusatz (1881)	50,05	4,11	7,81	n. best.	n. best.	27,74	n. best.
	Ebendaher bei Darstellung von Eisen mit 0,10 Hunderttheilen Kohlenstoff ohne Erzzusatz (1881)	44,70	3,04	2,85	„	„	38,19	„
	Aus einem 8 t-Ofen in Gutehoffnungshütte bei Darstellung von Eisen mit 0,11 Hunderttheilen Kohlenstoff mit Erzzusatz (auf 8 t Einsatz 100 kg Erz) (1882) .	46,00	2,33	9,30	„	„	32,39	0,30
	Ebendaher bei Darstellung von Eisen mit 0,13 Hunderttheilen Kohlenstoff, ebenfalls mit Erzzusatz (1882)	47,26	2,06	9,58	„	„	31,20	Sp.
	Ebendaher bei Darstellung von Eisen mit 0,21 Hunderttheilen Kohlenstoff mit Erzzusatz (1882)	47,90	2,39	14,32	32,85	1,21	26,40	n. best.
	Schlacke eines amerikanischen Ofens beim Betriebe ohne Erzzusatz erfolgt; nach Campbell[1])	50,73	n. best.	19,60	27,93	—	21,72	„
	Wie vorstehend, jedoch beim Betriebe mit reichlichem Erzzusatze erfolgt .	49,82	„	16,50	30,22	—	23,50	„

Die Schlacken des basischen Verfahrens lösen während des Schmelzens nicht nur den zugesetzten Kalk, sondern auch Theile des basischen Herdmateriales auf; daher verringert sich ihr Kieselsäuregehalt im Verlaufe des Schmelzens mehr und mehr, während ihr Gehalt an Kalkerde, unter Umständen auch an Magnesia, zunimmt. Mit der Vermehrung der Schlackenmenge durch Aufnahme von Kalk und Magnesia pflegt der Eisen- und Manganoxydulgehalt der Schlacke abzunehmen; mitunter ist jedoch eine Zunahme des Eisengehaltes bemerkbar, wenn Erze zugesetzt wurden oder auch, wenn gegen Ende des Schmelzens noch reichliche Mengen Eisen verbrannt wurden. Die erkalteten Schlacken pflegen stets kleine Mengen Eisenoxyd neben Eisenoxydul zu enthalten, welches jedoch vermuthlich erst beim Erkalten der Schlacke gebildet wurde. Da die Phosphorabscheidung aus dem Eisen sich auf die gesammte Zeitdauer des Schmelzens erstreckt,

1) In dessen mehrfach genannter Abhandlung.

müsste der Phosphorsäuregehalt der Schlacke unausgesetzt zunehmen, wenn nicht auch die Schlackenmenge sich stetig vermehrte. Es erklärt sich hieraus, dass er von Beendigung des Einschmelzens ab gewöhnlich nicht mehr grosse Veränderungen erleidet; dagegen können die Unterschiede in dem Phosphorsäuregehalte verschiedener Schlacken erheblich sein, wenn man das eine Mal einen phosphorreichen, das andere Mal einen phosphorarmen Einsatz verarbeitete. Der Schwefelgehalt der basischen Martinschlacken (welcher bei den meisten vorliegenden Untersuchungen nicht bestimmt wurde) bewegt sich etwa zwischen 0,02 bis 0,5 Hunderttheilen; indess pflegt, wie durch Berechnung sich finden lässt, nur ein Theil des aus dem Eisen abgeschiedenen Schwefels in der Schlacke zurückzubleiben, ein anderer Theil verbrennt und entweicht als schweflige Säure.

Bei der oben unter Beispiel 3 der chemischen Veränderungen des Eisens besprochenen Verarbeitung eines Einsatzes mit hohem Phosphorgehalte auf einem britischen Eisenwerke ergab sich folgende Zusammensetzung der Schlacken:

	Kohlenstoffgehalt des Eisens.	Schlacke: Kieselsäure	Phosphorsäure	Thonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul (FeO)	Eisenoxyd (Fe_2O_3)	Kalkerde	Magnesia
Nach bendigtem Einschmelzen . . .	0,42	22,90	12,50	14,20	3,69	14,90	1,17	28,00	1,70
2 Stunden später . .	0,075	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	5,91	1,23	n. best.	n. best.
Nach abermals 2 Stunden	0,045	17,20	16,19	12,20	2,64	13,30	2,31	33,60	2,27

Bei der Verarbeitung eines phosphorarmen Einsatzes (Phosphorgehalt 0,085, des fertigen Metalls 0,011 Hunderttheile) bei dem Eisenwerke Rešicza in Ungarn waren nach Schmidhammer[1]) die miterfolgenden Schlacken folgendermaassen zusammengesetzt:

	Kohlenstoffgehalt des Eisens	Schlacke: Kieselsäure	Phosphorsäure	Thonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul	Kalkerde	Magnesia
Nach beendigtem Einschmelzen . . .	1,13	27,96	1,06	0,84	9,95	11,98	42,50	4,73
15 Minuten später, nach Zusatz von 120 kg Hammerschlag	1,01	16,46	2,73	1,10	14,01	18,67	39,00	5,82
Nach Zusatz von abermals 180 kg Hammerschlag	0,93	19,60	2,77	0,72	19,74	19,23	35,00	4,80
Nach Zusatz von abermals 72 kg Hammerschlag	0,61	18,56	2,74	1,21	12,68	21,97	36,00	5,60
Nach Zusatz von abermals 48 kg Hammerschlag	0,42	16,16	2,24	0,76	11,59	28,37	36,50	6,14
19 Minuten nach dem letzten Zusatze	0,27	14,76	2,77	0,82	10,99	30,77	36,60	4,70
Nach abermals 51 Minuten, unmittelbar vor Eisenmanganzusatz	0,20	13,90	2,30	2,80	10,41	24,62	39,50	5,76

1) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 549; auch Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 33.

Schliesslich möge auch hier noch die Zusammensetzung verschiedener Endschlacken des basischen Verfahrens mitgetheilt werden.

	Kieselsäure	Phosphorsäure	Thonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul (FeO)	Eisenoxyd (Fe_2O_3)	Kalkerde	Magnesia
Schlacke von Rešicza, ohne Erzzusatz erfolgt, nach Gouvy[1] .	10,28	1,17	8,45	6,88	14,98	—	55,65	4,15
Schlacke eines englischen Eisenwerkes, nach Gillot[2] . . .	13,64	0,81	2,23	8,76	18,57	1,37	39,70	11,75
Schlacke aus Riesa (1890), von mir untersucht	32,80	1,56	3,74	8,23	8,71	—	33,26	10,64
Schlacke eines amerikanischen Eisenwerkes, nach Campbell[3]	22,59	2,29	n. best.	n. best.	13,54	—	39,52	14,73
Wie vorstehend	17,05	2,88	„	„	27,63	—	34,57	14,23
Schlacke von Saint-Chamond (1885), bei Verarbeitung eines Einsatzes mit 0,25 Hunderttheilen Phosphor erfolgt, nach Lodin[4]. .	16,25	9,40	1,30	15,06	8,45	8,87	34,88	4,72

e) Die Betriebsergebnisse.

Die Zeitdauer der Verarbeitung eines Einsatzes (Zeitdauer einer „Hitze“) hängt vornehmlich von dem Verhältnisse des Roheisens zum schmiedbaren Eisen ab. Je reichlicher der Roheisenzusatz ist, desto länger dauert die Entkohlung; auch durch Erzzusatz ist man, wie schon betont wurde, nicht im Stande, die Zeitdauer in dem Maasse abzukürzen, wie durch Verminderung des Roheisenzusatzes. Ausserdem spricht die Beschaffenheit des Herdes mit: auf basischem Herde geht die Entkohlung rascher von statten als auf saurem. Die Gründe dafür wurden oben besprochen. Auch die Temperatur im Ofen, welche zum grossen Theile von dessen Einrichtung abhängt, und die Ausführung des Einsetzens ist von Einfluss. Bewirkt man das Einsetzen durch Handarbeit, so bleiben die Thüren länger geöffnet und der Ofen wird stärker abgekühlt als bei Anwendung einer mechanischen Beschickungsvorrichtung. Weniger belangreich ist die Grösse des Einsatzes. In dem für Aufnahme des grösseren Einsatzes bestimmtem grösseren Ofen wird in der gleichen Zeit entsprechend mehr Wärme entwickelt als in dem kleineren Ofen; ersterer schmelzt deshalb auch mehr Eisen, zumal, wenn der Einsatz in einem Male gegeben wird. Diesen abweichenden Verhältnissen entsprechend schwankt die erforderliche gesammte Zeitdauer einer Hitze zwischen 4 bis 12 Stunden, meistens zwischen 5 bis 8 Stunden, so dass gewöhnlich im Laufe von 24 Stunden drei bis vier Hitzen durchgeführt werden können.

1) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 400.
2) Ebendas. 1885, Seite 94, nach Engineering and Mining Journal.
3) A. a. O.
4) Bulletin de la société de l’industrie minérale, série 3, tome III, p. 1477. Die Abhandlung enthält auch die Zusammensetzung von Schlackenproben während des Verlaufes der Hitze.

Die durchschnittliche Tageserzeugung ist durch die Grösse des Einsatzes und die Anzahl der Hitzen bedingt. 10 t-Oefen können beim basischen Betriebe täglich an 30 t Metall liefern, beim sauren Betriebe wegen des langsameren Verlaufes gewöhnlich nicht mehr als 20 bis 25 t.

Der Abbrand ist bei der Arbeit ohne Erzzusatz zum grossen Theil durch das Verhältniss des Roheisens zum schmiedbaren Eisen bedingt. Aus dem Roheisen werden Kohlenstoff, Mangan, Silicium, beim basischen Verfahren auch Phosphor ihrer grössten Menge nach abgeschieden; je reicher an diesen Bestandtheilen der Einsatz war, je mehr Roheisen man also gesetzt hatte, desto höher beziffert sich der Abbrand. Daneben spricht die Oxydationswirkung des Ofens, das Maass der beabsichtigten Entkohlung, die Beschaffenheit des verwendeten schmiedbaren Eisens mit. Eisenschrot in kleinen Stücken, zum Theil verrostet und mit Sand gemengt, liefert reichlicheren Abbrand als rostfreies Eisen in grösseren Stücken. Meistens beträgt der Abbrand 5 bis 8 Hunderttheile vom Einsatzgewichte.

Setzt man dagegen Erz (Hammerschlag, Walzsinter) zu, so kommt in Betracht, dass in der hohen Temperatur des Martinofens ein Theil des Eisengehaltes der Erze reducirt wird und mit dem eingesetzten Eisen sich vereinigt. Bei reichlichem Roheisen- und Erzzusatze kann es demnach geschehen, dass man bei Vernachlässigung des im Erze enthaltenen Eisens ein das Einsatzgewicht noch übersteigendes Ausbringen erhält. Wie viel Eisen in jedem solchen Falle aus dem Erze reducirt war, lässt sich nur durch Berechnung aus dem Gewichte und der Zusammensetzung der eingesetzten Materialien und der erhaltenen Schmelzerzeugisse (Eisen und Schlacken) finden. Verschiedene solcher Berechnungen haben ergeben, dass von dem Eisengehalte der zugesetzten Eisenoxyde gewöhnlich 30 bis 60 Hunderttheile ausgebracht, demnach 70 bis 40 Hunderttheile verschlackt werden.[1]) Maassgebend dabei ist theils das Verhältniss der im Bade anwesenden reducirenden Körper (Kohlenstoff, Silicium, Mangan) zu den Eisenoxyde, theils der Kohlenstoffgehalt des Erzeugnisses. Schmelzt man Roheisen mit einer beschränkten Menge Erz ohne Zusatz von schmiedbarem Eisen (z. B. 4 Theile Roheisen mit 1 Theil Erz) und stellt daraus ein nicht sehr kohlenstoffarmes Erzeugniss dar, so kann man 50 bis 60 Hunderttheile des Eisengehaltes im Erze ausbringen, und bisweilen hat die Rechnung ein noch etwas höheres Ausbringen ergeben; erhöht man den Erzzusatz übermässig und setzt man reichliche Mengen schmiedbaren Eisens zu, um das Verfahren abzukürzen, so kann das Ausbringen auf die angegebene niedrigste Ziffer sinken.[2])

1) Derartige Berechnungen findet man unter anderem mitgetheilt in: Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 295; 1893, Seite 34; Berg- und hüttenm. Ztg. 1890, Seite 6 (aus Jernkontorets Annaler); A. Pourcel, Note sur le procédé au minerai, Paris 1891, p. 12 (aus den Mémoires de la société des ingénieurs civils, Mai 1891).

2) Im scheinbaren Widerspruche hiermit fand Campbell (a. a. O.), dass auf saurem Herde das Ausbringen bei geringem Erzzusatze sich ungünstiger stellte als bei grösserem Zusatze. Er erklärt die Erscheinung dadurch, dass von dem Eisengehalte des zugesetzten Erzes stets eine bestimmte Menge in Form von Eisenoxydul zur Bindung der im Ofen vorhandenen und durch das Erz selbst zugeführten

Der Brennstoffverbrauch zur Darstellung einer bestimmten Menge Flusseisen wächst mit der Zeitdauer der Hitze und ist daher durch ähnliche Umstände als diese bedingt. Aber auch die Grösse des Ofens spricht hierbei mit, da der grössere Ofen im Allgemeinen eine günstigere Wärmeausnutzung als der kleinere ermöglicht. Diesen Umständen entsprechend zeigt der Brennstoffverbrauch unter verschiedenen Verhältnissen recht erhebliche Unterschiede. Bei dem Betriebe von Oefen mit 12 t oder mehr Inhalt, basischem Herde, wenig Roheisenzusatz und Benutzung aschenarmer, zur Vergasung gut geeigneter Steinkohlen ist man befähigt, mit einem Brennstoffaufwande von nicht über 270 kg, mitunter noch etwas weniger, auf 1 t erzeugten Metalls zu arbeiten [1]; unter ungünstigen Verhältnissen — kleine Oefen, hoher Roheisensatz, geringwerthige Brennstoffe — kann der Brennstoffverbrauch auf 700 kg steigen. Benutzt man Braunkohlen, so ist der Brennstoffverbrauch im umgekehrten Verhältnisse ihres Brennwerthes grösser. Auf dem Südbahnwalzwerke in Graz gebrauchte man in den Jahren 1882 und 1883 beim Betriebe von zwei 12 ½ t-Oefen etwa 690 kg steirische Braunkohlen für 1000 kg Fertigmetall, bei kleineren Oefen desselben Werkes 880 kg. Bei dem 7 t-Ofen eines ungarischen Werkes dagegen, welches Braunkohlen mit 15 Hunderttheilen Asche und 25 bis 30 Hunderttheilen Wasser zu benutzen gezwungen war, stieg der Braunkohlenverbrauch auf 4560 kg.[2]

Durch Gegenüberstellung der im Martinofen durch Verbrennung der Gase und der Bestandtheile des Einsatzes entwickelten, sowie von den heissen Gasen und der Verbrennungsluft mitgebrachten Wärme einerseits und der zur Erhitzung des Eisens, sowie der Schlacken verbrauchten, durch die Essengase mitgenommenen und durch die heissen Ofenwände nach aussen abgegebenen Wärme andererseits erhält man, wie beim Hochofen, eine Wärmebilanz des Martinofens. H. von Jüptner und Fr. Toldt fanden bei derartigen Ermittelungen [3]) an drei mit Braunkohlen geheizten 5 t-Oefen, dass von der gesammten Wärme, welche im Ofen durch die Gase mitgebracht wurde, in einem Falle 12,7 Hunderttheile, in dem zweiten Falle 15,0 Hunderttheile, in dem dritten Falle 19,9 Hunderttheile zur Erhitzung des erzeugten Eisens und der Schlacken verbraucht wurden, während der Rest durch die Essengase und die Ofenwände verloren ging. Der Braunkohlenverbrauch für 1 t fertigen Eisens bei den drei Oefen betrug 720, 628 und 381 kg. Bei der Vergasung dieser Braunkohlen und der Fortleitung des erzeugten Gases aber gingen, wie die angestellten Ermittelungen ebenfalls nachwiesen, von ihrem Brennwerthe etwa 50 Hunderttheile durch

Kieselsäure verbraucht werde und nur der übrig bleibende Rest für die Reduction verfügbar bleibe. Je kleiner die zugesetzte Erzmenge ist, desto höher beziffert sich das Verhältniss des durch diese Verschlackung hervorgerufenen Verlustes zum Ausbringen. Dem günstigsten Ausbringen würde demnach in jedem einzelnen Falle ein ganz bestimmtes Verhältniss zwischen Eisen und Erz entsprechen, welches aber nicht ein für alle Mal sich feststellen lässt, sondern von der Zusammensetzung der genannten Materialien, auch von der Temperatur im Ofen, Beschaffenheit des Herdes und sonstigen Nebenumständen abhängt.

1) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 253; 1892, Seite 998.

2) Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 32.

3) Ebenda 1888, Seite 386; 1890, Seite 428.

Rostdurchfall und Abkühlung verloren, so dass, wenn man die Ausnutzung des Brennwerthes der verbrauchten rohen Kohle im Martinofen berechnet, der Wirkungsgrad des letzteren (Seite 123, 157) sich nicht höher als etwa 0,08 beziffert. Ein ähnliches Ergebniss (Wirkungsgrad = 0,11) erhielt Campbell bei einem mit Steinkohlengas geheizten Ofen.[1])

Die Arbeiter bei einem Martinofen bestehen aus einem Schmelzer mit zwei bis drei Gehülfen in jeder Schicht, den Arbeitern in der Giessgrube, deren Zahl von dem Umfange des Betriebes abhängt, und bei den Gaserzeugern; hierzu kommen die verschiedenen Handlanger zur Herbeischaffung der Materialien. Die Löhne für je 1 t erzeugten Metalls sind, wie bei anderen Betriebszweigen, im Allgemeinen um so niedriger, je grösser die Tageserzeugung ist, und pflegen 4,5 bis 5 Mark zu betragen.

Aus den Kosten für verbrauchte Materialien, Löhnen, für Instandhaltung der Oefen und Geräthe und den Insgemeinkosten setzen sich die Selbstkosten des erzeugten Flusseisens zusammen. Als durchschnittlichen Betrag der sämmtlichen Schmelz- und Insgemeinkosten, welche der Ausgabe für Eisen hinzugerechnet werden müssen, damit man die Selbstkosten des erfolgenden Eisens erhalte, kann man für deutsche Verhältnisse etwa 20 Mark annehmen. Verarbeitet demnach ein Werk zur Darstellung von 1 t fertigen Eisens 250 kg Roheisen zu 55 Mark für 1 t, 820 kg schmiedbares Eisen zum Durchschnittspreise von 45 Mark, 6 kg Eisenmangan zu 160 Mark für 1 t, so würden die Selbstkosten des fertigen Metalls ungefähr betragen:

250 kg Roheisen zu 55 Mark	13 Mark	75 Pf.
820 „ schmiedbares Eisen zu 45 Mark	36 „	90 „
Schmelzkosten	20 „	— „
zusammen	70 Mark	65 Pf.

Beim basischen Betriebe pflegen trotz des etwas höheren Aufwandes für die Herstellung und Instandhaltung des Herdes, sowie der Ausgabe für den Kalkzuschlag die Selbstkosten etwas niedriger als bei dem sauren Verfahren unter übrigens gleichen Verhältnissen auszufallen, da man billigeres Eisen benutzen kann und auch der Brennstoffverbrauch in der Regel geringer ist.

f) Die Erzeugnisse.

Das Metall.

Was über die Eigenthümlichkeiten des Bessemer- und Thomasmetalls auf Seite 942 gesagt wurde, gilt auch vom Martinmetalle. So wenig wie der Bessemer- und Thomasstahl ist der Martinstahl im Stande gewesen, den Tiegelstahl zu verdrängen, wo das höchste Maass von Vorzüglichkeit erste Bedingung der Verwendbarkeit war; aber neben letzterem hat jener für gröbere Werkzeuge, Federn und andere Dinge nicht selten Benutzung gefunden, wo sein geringerer Preis mit berücksichtigt werden konnte. Erheblich wichtiger aber als die Her-

1) A. a. O.

stellung von Stahl ist auch beim Martinbetriebe in den letzten anderthalb Jahrzehnten die Erzeugung des weichen Metalls, des Flusseisens im engeren Sinne, geworden, welches, das Schweisseisen an Zähigkeit und Festigkeit übertreffend, an dessen Stelle eine umfangreiche Verwendung für Bauwerkeisen aller Art, Bleche, Walzdraht und andere Walzwerkserzeugnisse mehr gefunden hat. Dass gerade für diesen Zweck der basische Betrieb geeigneter sei als der saure, folgt aus dem früher Gesagten, und erst seit Einführung und Vervollkommnung des basischen Verfahrens ist es möglich geworden, dem Erzeugnisse des Martinofens die jetzige Bedeutung zu erringen.

Häufig war man in früherer Zeit der Meinung, dass das Martinmetall dem Bessemer- und Thomasmetalle an Güte, insbesondere an Zuverlässigkeit bei der Verwendung zu baulichen Zwecken, überlegen sei. Man begründete die Annahme damit, dass das Martinschmelzen weit langsamer von statten geht, als das Windfrischen, man deshalb besser befähigt sei, das Verfahren durch öftere Entnahme von Proben zu überwachen und zu regeln, und dass auch die beim Windfrischen unvermeidliche innige Berührung des Metalls mit dem hindurchgehenden Winde und den entstandenen Gasen Gelegenheit zu einer Verschlechterung der Beschaffenheit geben könne. Vergleichende Versuche und Beobachtungen, welche in den siebziger und achtziger Jahren angestellt wurden, schienen die Berechtigung jener Annahme zu erweisen.[1]) Seit jener Zeit aber sind beide Verfahren vervollkommnet worden; insbesondere hat der Betrieb des Thomasverfahrens, welches in Deutschland einen erheblichen Theil alles Bauwerkeisens liefert, wesentliche Fortschritte gemacht. Neuere Versuche haben dargethan, dass jene frühere Annahme keine Berechtigung mehr besitzt, sondern dass beide Flusseisenarten, insbesondere bei der Verwendung zu baulichen Zwecken, als gleichwerthig betrachtet werden müssen.[2])

Umfangreichere Verwendung als das Birnenmetall findet dagegen das Martineisen zur Herstellung von Formguss.[3]) Mitunter benutzt man den nämlichen Ofen zur Herstellung von Blöcken für das Walzwerk und von Formguss, indem man nach beendigtem Schmelzen das für ersteren Zweck bestimmte Metall absticht und alsdann dem im Herde gelassenen Reste noch Zusätze giebt (Spiegeleisen, Siliciumeisen), welche dem Metalle die für Formgusserzeugung geeignetere Zusammensetzung verleihen (Seite 959). Wo man einen Martinofen ausschliesslich für die Giesserei betreibt, pflegt man auf saurem Herde zu arbeiten, da die Haupteigenthümlichkeiten des basischen Betriebes, rasche Verbrennung des Siliciums und Kohlenstoffs, hier weniger von Belang und eher nachtheilig als vortheilhaft sind; dass es jedoch möglich sei, auch auf basischem Herde ein für die Giesserei brauchbares Erzeugniss zu gewinnen, hat die Erfahrung gelehrt. In jedem Falle verwendet man einen verhältnissmässig manganreichen Einsatz (Mangangehalt 1,0 bis 1,5 Hunderttheile), so dass auch am Ende des Schmelzens noch eine gewisse Menge Mangan im Eisen sich befindet, und giebt auch schliess-

1) Centralblatt der Bauverwaltung 1889, Seite 339; Deutsche Bauzeitung 1890, Seite 203; „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 814; 1891, Seite 804 und 901.

2) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 711; 1892, Seite 279 und 558; 1893, Seite 275.

3) Vergleiche die Bemerkungen auf Seite 943.

lich einen reichlichen Zusatz von Eisenmangan und Siliciumeisen.[1]) Das fertige Metall in den Gussstücken pflegt 0,20 bis 0,60 Hunderttheile Kohlenstoff, 0,50 bis 1,00 Hunderttheile Mangan, 0,20 bis 0,60 Hunderttheile Silicium und höchstens 0,10 Hunderttheile Phosphor zu enthalten; z. B.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Schuhe des Eiffelthurmes	0,22	0,52	0,20
Maschinen und Bautheile aus deutschen Giessereien, im Mittel	0,40	1,00	0,40
Getriebe, im Mittel...........	0,50	0,70	0,25

Wie alle Formgussstücke aus schmiedbarem Eisen müssen die aus dem Martinofen gefertigten geglüht werden, um gut brauchbar zu sein; sie pflegen nach dem Glühen eine Zugfestigkeit von 45 bis 60 kg bei einer Längenausdehnung von 30 bis 15 Hunderttheilen (auf 200 mm ursprüngliche Länge bezogen) zu besitzen.[2])

Die Schlacken.

Beispiele von der Zusammensetzung der Endschlacken des sauren und basischen Martinverfahrens wurden bereits auf Seite 965 bis 968 gegeben. In der Regel bewegt sich diese Zusammensetzung innerhalb folgender Grenzen:

	Schlacken vom sauren Verfahren	Schlacken vom basischen Verfahren
Kieselsäure ...	45 bis 60 Hunderttheile	15 bis 35 Hunderttheile
Phosphorsäure ..	— „ — „	1 „ 10 „
Thonerde	2 „ 4 „	1 „ 9 „
Manganoxydul ..	10 „ 20 „	3 „ 15 „
Eisenoxydul ...	40 „ 20 „	20 „ 10 „
Kalkerde Magnesia }	0 „ 4 „	60 „ 35 „

Die Schlacken des sauren Verfahrens sind demnach denen des Bessemerverfahrens (Seite 944) ähnlich, durchschnittlich aber etwas ärmer an Mangan, da auch der Einsatz manganärmer zu sein pflegt. Man benutzt sie, wo die Martinhütte sich in unmittelbarer Nähe einer Hochofenanlage befindet, mitunter ihres Eisen- und Mangangehaltes halber als Zusatz für die Hochofenbeschickung.

Die Schlacken des basischen Verfahrens sind durchschnittlich erheblich phosphorärmer als die Thomasschlacken und deshalb als Düngemittel nicht oder nur ausnahmsweise verwendbar. Die erheblichen Unterschiede, welche die Zusammensetzung dieser Schlacken bei verschiedenem Betriebe aufweist, machen es erklärlich, dass eine allseitig befriedigende Lösung der Aufgabe, sie nützlich zu verwenden, bis jetzt nicht gefunden ist.

1) Beispiel: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 457.
2) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 458.

Literatur.

a) Grössere Werke.

Henry Marion Howe, The Metallurgy of Steel. New-York 1890.

E. F. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Bd. III. Leipzig 1892, S. 252—338, 397—554.

E. Breslauer, Herstellung von Gussstahl in Masseformen. Berlin 1892 (enthält Angaben über Martinofenbetrieb und Formgussdarstellung).

b) Abhandlungen.

Ueber die Eigenschaften des Flusseisens und die Erzielung dichter Güsse.

Dr. Kollmann, Die Eigenschaften, Darstellung und Verwendung des Flusseisens. Zeitschr. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1880, S. 211.

D. K. Tschernoff, Untersuchungen über die Structur der Stahlingots. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1880, S. 307.

G. J. Snelus, Ueber die Vertheilung der Elemente in Stahlingots. Glasers Annalen, Bd. IX, S. 179.

W. Cheever, The segregation of impurities in Bessemer steel ingots. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIII, p. 167.

H. Eccles, An imperfection in mild steel plates. Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, p. 70; auch „Stahl und Eisen“ 1888, S. 740.

A. Ledebur, Ueber fehlerhafte Stellen in Zerreissproben aus Flusseisen. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 13.

F. C. G. Müller, Ueber die Aufblähung der Flusseisenblöcke während des Walzens. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 79.

Ueber verschiedene Verfahren zur Herstellung dichter Stahlgüsse. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 766.

Ueber verschiedene Methoden zum Giessen kleiner Flusseisenblöcke. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 443.

Kunt Styffe, Aluminium als Raffinirungsmittel für andere Metalle. Aus Jernkontorets Annaler in „Stahl und Eisen“ 1893, S. 311.

W. Annable, Ueber das Pressen flüssigen Stahles. Glasers Annalen, Bd. X, S. 270.

F. Gautier, Ueber das Pressen des flüssigen Stahles. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 385.

Die Einrichtung zur Comprimirung des Stahles in den Barrowwerken. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 329.

F. D. Allen, Ueber die Anwendung eines mechanischen Rührwerkes in der Fabrikation des Bessemerstahles. Glasers Annalen, Bd. IX, S. 178; „Stahl und Eisen“ 1883, S. 342.

W. H. Greenwood, On the treatment of steel by hydraulic pressure. Proceedings of the Institute on of Civil Engineers, vol. XCVIII, p. 6 (1889).

A. Thielen, Ueber Darbys Rückkohlungsprocess. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 920.

Ueber Giessvorrichtungen, Gussformen, Formgussdarstellung.

A. Musil, Die hydraulische Einrichung in den Bessemerhütten. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1877, S. 275, 309; Kerpely, Fortschritte der Eisenhüttentechnik, Jahrgang 13 und 14, S. 405.

R. M. Daelen, Die Hydraulik in den Bessemerwerken. Glasers Annalen, Bd. VII, S. 242; Bd. VIII, S. 342.

R. M. Daelen, Die Giessvorrichtungen in den Stahlwerken. „Stahl und Eisen" 1882, S. 152.

A. Trappen, Neuer Giesskrahn für Bessemerhütten. „Stahl und Eisen" 1882, S. 405.

Ueber Bessemerkrahne. Mittheilungen von R. M. Daelen und F. Wrightson. „Stahl und Eisen" 1883, S. 667.

Maschinelle Einrichtungen in amerikanischen Stahlwerken. „Stahl und Eisen" 1891, S. 305.

Neuerungen in der Darstellung und Verarbeitung des Flusseisens. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1889, S. 125.

Lokomotivkrahn für Giessereizwecke (Bessemerkrahn). Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1889, S. 1.

J. Birkinbine, a tilting ladle car for molten metal or slag. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XV, p. 685.

R. M. Daelen, Ueber verschiedene Einrichtungen in den Stahl- und Walzwerken Deutschlands. „Stahl und Eisen" 1890, S. 1040.

Ueber Stahlfaçonguss. „Stahl und Eisen" 1881, S. 143.

A. Ledebur, Ueber Stahlformguss. „Stahl und Eisen" 1891, S. 452.

Gust. Schmidhammer, Anwendung von Stahlguss an Stelle von Schmiedestücken. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1884, S. 138.

Ueber Flusseisendarstellung aus Erzen.

J. v. Ehrenwerth, Zur directen Darstellung von Stahl. Oesterr. Zeitschr. für Berg und Hüttenwesen 1882, S. 279.

J. v. Ehrenwerth, Zur directen Eisenerzeugung. „Stahl und Eisen" 1891, S. 299; 1892, S. 224.

Bull's Iron and Steel direct process. Iron, vol. XXI, p. 89; „Stahl und Eisen" 1882, S. 325.

Ueber Tiegelstahldarstellung.

J. Bischoff, Ueber Werkzeug-Gussstahl. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1885, S. 780.

F. C. G. Müller, Ueber den Einfluss des Siliciums auf die Beschaffenheit des Werkzeugstahles. „Stahl und Eisen" 1888, S. 375.

H. Seebohm, Ueber die Darstellung des Tiegelgussstahles. „Stahl und Eisen" 1884, S. 660 (aus Journal of the Iron and Steel Institute 1884, p. 372).

M. Boeker, Werkzeugstahl, seine Herstellung und Verwendung. „Stahl und Eisen" 1886, S. 33.

A. Ledebur, Zur Theorie des Tiegelstahlprocesses. „Stahl und Eisen" 1883, S. 603.

A. Ledebur, Ueber das Verhalten des Mangans beim Tiegelschmelzen. „Stahl und Eisen" 1885, S. 370.

F. C. G. Müller, Untersuchungen über den Tiegelstahlprocess. „Stahl und Eisen" 1885, S. 180; 1886, S. 695.

A. Brand, Einige Beiträge zur Kenntniss der Vorgänge bei Stahlschmelzprocessen in sauren und basischen Tiegeln. Berg- und hüttenmänn. Ztg. 1885, S. 105.

P. Oestberg, Mitis-castings. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIV, p. 773.

J. Henrotte, Note sur le fer mitis fondu par le procédé Nordenfelt. Revue universelle des mines série 3, tome III, p. 190 (1888).

Ueber das Bessemer- und Thomasverfahren.

R. M. Daelen, Ueber neuere Gebläse für Bessemer-Stahlwerke. „Stahl und Eisen" 1888, S. 433.

R. M. Daelen, Ueber neuere Bessemerwerke. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1885, S. 1016.

Der Clapp-Griffiths-Process in Amerika. „Stahl und Eisen" 1886, S. 172.

K. Sorge, Notizen über den Clapp-Griffiths-Process in den Vereinigten Staaten. „Stahl und Eisen" 1887, S. 316.

J. Hardisty, On modifications of Bessemer converters for small charges. Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, p. 651.

A. Pourcel et F. Valton, Note sur le convertisseur Bessemer dit Robert. Revue universelle des mines, série 3, tome XIII, p. 146.

Ch. Walrand, Erzeugung von Flusseisen im Converter von Walrand-Delattre. „Stahl und Eisen" 1887, S. 390.

W. Stercken, Die Kleinbessemerei und ihre Fortschritte. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1887, S. 489.

O. Vogel, Kleinbessemerei. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1892, S. 406.

B. Versen, Herstellung der Birnenböden durch maschinelle Stampfer. „Stahl und Eisen" 1892, S. 1089.

H. M. Howe, Mittheilungen über den amerikanischen Bessemerprocess. „Stahl und Eisen" 1890, S. 1022.

R. Åkerman, Ueber das Bessemern in Schweden. „Stahl und Eisen" 1893, S. 920.

Ueber den Thomasprocess in Belgien. „Stahl und Eisen" 1893, S. 101 (enthält Skizzen verschiedener Anordnungen der Thomashütten).

A. Holley, Die Bethlehem Iron and Steel Works in Nordamerika. „Stahl und Eisen" 1882, S. 54.

C. J. Copeland, Die Bessemeranlage der Erimus Works, Middlesborough. „Stahl und Eisen" 1882, S. 57.

A. Greiner, Les installations Bessemer américaines adaptées au procédé basique d'après les plans de M. Holley. Revue universelle des mines, série 2, tome XI, p. 1.

J. de Macar, Note sur les acieries allemandes et belges en 1882. Revue universelle des mines, série 2, tome XII, p. 143.

H. Wedding, Die Südwerke der Illinois-Stahlgesellschaft in Chicago. „Stahl und Eisen" 1891, S. 730.

Rob. Forsyth, The Bessemer Plant of the North Chicago Rolling Mill Company at South Chicago. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XII, p. 254.

F. C. G. Müller, Untersuchungen über den deutschen Bessemerprocess. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, S. 385, 453.

D. K. Tschernoff, Documents sur la fabrication de l'acier Bessemer. Revue universelle des mines, série 2, tome I, p. 420; tome IV, p. 56.

Ch. F. King, The chemical reactions in the Bessemer process the charge containing but a smal percentage of manganese. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. IX, p. 258.

C. G. Dahlerus, The results of some experiments with the Bessemer process. Iron, vol. XXI, p. 73.

C. A. Casperson, Ueber den Einfluss des Wärmegrades der Bessemerchargen auf die Beschaffenheit der Stahlblöcke, nebst Betrachtungen von R. Åkerman. „Stahl und Eisen" 1883, S. 71.

J. E. Stead, Ueber die chemischen Vorgänge im Bessemerconverter. „Stahl und Eisen" 1883, S. 260.

G. J. Snelus, Sur la composition des gaz produits dans l'appareil Bessemer. Annales des mines, série 7, tome II, p. 332 (aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1871, vol. II).

A. Tamm, The composition of the gases escaping from a Bessemer converter during the blow. Iron, vol. XIII, p. 674, 707, 739, 771, 803; vol. XIV, p. 2, 67, 98, 131.

E. Heyrowsky, Ueber Bessemern mit heissem Winde. Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben u. s. w., Bd. XXII, S. 436.

G. J. Snelus, On the removal of phosphorus and sulphur during the Bessemer and Siemens Martin processes. The Journal of the Iron and Steel Institute 1870, p. 135.

S. G. Thomas and P. C. Gilchrist, On the elimination of phosphorus in the Bessemer converter. The Journal of the Iron and Steel Institute 1879, p. 120.

Thomas und Gilchrist, Der heutige Stand des Entphosphorungsverfahrens. „Stahl und Eisen" 1881, S. 184.

S. G. Thomas und P. C. Gilchrist, Die Stahlerzeugung aus phosphorhaltigem Roheisen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 294.

J. v. Ehrenwerth, Abhandlungen über den Thomas-Gilchristprocess. Sonderabdruck aus der Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1879. Leoben 1879.

J. v. Ehrenwerth, Studien über den Thomas-Gilchristprocess. Sonderabdruck aus der Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1880 und 1881. Wien 1881.

G. Bresson, Memoire sur la fabrication et les emplois actuels de l'acier déphosphoré. Revue universelle des mines, série 3, tome III, p. 134; tome IV, p. 43.

R. M. Daelen, Das Verfahren zum Ueberhitzen des Eisens in der Birne von Walrand und Legénisel. „Stahl und Eisen" 1893, S. 830.

Ueber das Martinverfahren.

P. v. Odelstjerna, Notizen über die Erzeugung des Martinmetalls. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1883, S. 201.

Julius Prochaska, Notizen über den Siemens-Martinprocess auf dem Grazer Südbahn-Walzwerke. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1883, S. 475; „Stahl und Eisen" 1883, S. 586.

J. v. Ehrenwerth, Ueber Flussstahlerzeugung unter Mitverwendung von Erzblooms. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 296.

J. v. Ehrenwerth, Ueber den Martinprocess mit Erzen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 542.

J. v. Ehrenwerth, Ueber den Martinprocess mit ausschliesslicher Verwendung von Roheisen und Erzen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1886, S. 622.

J. Fréson, Die Fabrikation von Flusseisen im Flammofen in den Vereinigten Staaten. „Stahl und Eisen" 1887, S. 189 (aus Revue universelle des mines, série 2, tome XX, p. 402).

F. W. Harbord, Some preliminary experiments on the removal of metalloids in the basic Siemens furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, p. 700 (auch „Stahl und Eisen" 1886, S. 811).

A. Gouvy, Die Flusseisenerzeugung auf basischem Herde in Rešicza. „Stahl und Eisen" 1889, S. 396.

W. Sóltz, Die Martinöfen und die Martinstahlfabrikation. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1893, S. 1.

H. Campbell, The physical and chemical equations of the open-hearth-process. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIX, p. 128.

A. Ledebur, Eine Abhandlung über das Martinverfahren in Nordamerika (nach H. Campbell). „Stahl und Eisen" 1893, S. 869.

R. M. Daelen, Die Erzeugung von Flusseisen in Nordamerika. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1891, S. 122.

A. Pourcel, Note sur le procédé an minérai pour obténir l'acier sur sole. Mémoires de la société des ingénieurs civils, Mai 1891 (auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1802, S. 12).

C. Steffen, Neue Martinstahl-Anlage. „Stahl und Eisen" 1887, S. 382.

Fr. Toldt, Ueber Details von Siemens-Martinöfen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. LI, Heft 3 (auch im Sonderabdrucke Leipzig 1893 erschienen).

V. Das Glühfrischen.

(Darstellung von schmiedbarem Guss, Temperstahl, Glühstahl.)

I. Allgemeines.

Der Begriff des Ausdruckes Glühfrischen ist schon oben auf Seite 256 erläutert worden: Roheisen wird im glühenden Zustande, ohne geschmolzen zu werden, oxydirenden Einflüssen ausgesetzt, durch welche sein Kohlenstoffgehalt verbrannt und es in schmiedbares Eisen umgewandelt wird.

Das Verfahren ist schon ziemlich alt und scheint bereits im siebzehnten Jahrhunderte, vielleicht noch früher, geübt worden zu sein. Die erste Beschreibung davon findet sich in dem Werke Réaumurs, *L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, Paris 1722;* sowie in dem anderen Buche desselben Verfassers: *Nouvel art d'adoucir le fer fondu et de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de le fer forgé.* Vielfach ging das Verfahren Hand in Hand oder wurde verwechselt mit einem ähnlichen Verfahren, dem einfachen Ausglühen gegossener Gegenstände in Körpern, die eine besondere chemische Einwirkung nicht ausüben und nur die Berührung mit der Luft verhindern sollen, Holzkohle, Asche oder dergleichen. Im letzteren Falle wird einfach die Kohlenstoffform geändert: Härtungskohle wandelt sich in Karbidkohle, bei langem Glühen in Temperkohle um (Seite 277). Hartes Eisen wird weich, feilbar (Seite 330). In Eisengiessereien, welche dünne, beim Eingiessen des Gusseisens in Sandgussformen leicht hart werdende Gegenstände erzeugen, macht man bisweilen noch heute von dem zuletzt erwähnten, einfacheren Verfahren Anwendung: man glüht die Gegenstände längere Zeit bei Luftabschluss, und sie werden dadurch leichter bearbeitbar, weniger spröde.

Wegen der Aehnlichkeit beider Verfahren und ihres Erfolges hat man beiden den gemeinschaftlichen Namen Tempern gegeben. Den

eigentlichen Unterschied erkannte man erst, nachdem das Verfahren schon lange Zeit geübt worden war.

Als Oxydationsmittel beim Glühfrischen benutzt man fast immer Metalloxyde, welche einen Theil ihres Sauerstoffs leicht an den Kohlenstoff des Roheisens abgeben. Als besonders geeignet für diesen Zweck haben sich Eisenerze, Rotheisenerze, geröstete Magnet-, Spath- oder Brauneisenerze, erwiesen. Je sauerstoffreicher das Glühmittel ist, und je leichter es einen Theil seines Sauerstoffgehaltes abgiebt, desto rascher geht die Entkohlung von statten. Ein allzu rascher Verlauf aber ist nicht wünschenswerth, zumal wenn der geglühte Gegenstand sofort als Gebrauchsgegenstand zu dienen bestimmt ist (schmiedbarer Guss, Temperstahl). Das in dem erweichten Metalle sich entwickelnde Kohlenoxyd treibt dieses auf, ihm eine porige, schwammartige Beschaffenheit ertheilend, oder es sondert sich wohl eine rasch weich gewordene Schale von einem noch hart gebliebenem Kerne. Allzu sauerstoffreiche Oxyde werden deshalb mit ärmeren oder mit Körpern, welche nur als Verdünnungsmittel wirken (z. B. Kalk), gemischt. Auch Hammerschlag, welcher weniger kräftig wirkt als Eisenoxyd, findet als Zusatz zu reichen Erzen Verwendung. Wirkt dagegen das Glühmittel zu wenig kräftig, so lässt sich seine Wirkung durch Zusatz von Braunstein (Seite 207) erhöhen, welcher schon beim einfachen Glühen einen Theil seines Sauerstoffgehaltes abgiebt. Zinkoxyd ist mehrfach als Glühmittel versucht worden, ohne besondere Bewährung gefunden zu haben.

Der Schwefelgehalt der angewendeten Glühmittel muss thunlichst gering sein, da das Eisen sonst leicht Schwefel aufnimmt und dadurch eine Verschlechterung seiner Eigenschaften erleidet.

Die als Glühmittel dienenden Oxyde werden gepulvert, und das zu glühende Roheisen wird hineingepackt. Bei der stattfindenden Einwirkung wird das Glühmittel sauerstoffärmer; in ausreichend hoher Temperatur und bei lange fortgesetztem Glühen kann es sogar theilweise zu Metall reducirt werden. Soll deshalb das Glühmittel auf's neue benutzt werden, so ist eine Aussonderung der stärker reducirten Theilchen und ein Zusatz frischer Oxyde erforderlich.

Wollte man, um die Anwendung fester Glühmittel zu ersparen, das Roheisen in Berührung mit atmosphärischer Luft glühen, so würde an seiner Aussenfläche sich alsbald eine an Stärke mehr und mehr zunehmende Schicht oxydirten Eisens bilden, und das Eisen würde, wenigstens theilweise, zu Brandeisen (Seite 255) werden. Dennoch lässt sich atmosphärische Luft als Glühmittel benutzen, wenn man ihre Einwirkung beschränkt, d. h. wenn man das zu glühende Roheisen in Körper eingepackt, welche selbst ohne chemische Einwirkung bleiben und, ohne die Berührung der von ihnen eingeschlossenen Luft mit dem Eisen vollständig zu hindern, doch einen raschen Luftwechsel unmöglich machen. Man kann dafür die verschiedenartigsten Körper verwenden, sofern sie Körnerform besitzen und beim Glühen keine Veränderung erleiden; auf einigen steirischen Eisenwerken verwendete man nach Tunners Vorschlage längere Zeit hindurch für diesen Zweck grobkörnigen Quarzsand, in welchen man Roheisenstücke einpackte, um

sie zu entkohlen. Das Erzeugniss wurde Glühstahl genannt. Das Verfahren ist jedoch nur vereinzelt geblieben.

Von Wichtigkeit ist der Umstand, dass sowohl bei Anwendung fester Glühmittel als freien Sauerstoffs die Entkohlung sich nicht allein auf die Oberfläche des geglühten Eisenstückes beschränkt, sondern sich auch auf seine innersten Theile fortpflanzt, sofern das Glühen ausreichend lange fortgesetzt wird und die Temperatur ausreichend hoch ist. Eine Wanderung des Kohlenstoffs findet statt. Wenn am Rande des Eisenstückes die Menge des Kohlenstoffs sich verringert, fliesst gewissermaassen von innen her Kohlenstoff nach, damit Ausgleich stattfinde. Am besten wird man sich einen Begriff des Vorganges machen können, wenn man ihn sich derartig vorstellt, dass von Molekül zu Molekül des Eisens Kohlenstoff abgegeben wird, sobald das eine Molekül kohlenstoffärmer als das andere geworden ist; solcherart vollzieht sich während des Glühens eine unausgesetzte Bewegung des Kohlenstoffs von innen nach aussen.

Der umgekehrte Vorgang, eine Wanderung des Kohlenstoffs von aussen nach innen, bildet die Grundlage des später beschriebenen Cementirverfahrens.

Immerhin bleiben, sofern das Glühen vorzeitig unterbrochen wird, die inneren Theile, der Kern, eines Eisenstücks kohlenstoffreicher als die der Oberfläche zunächst gelegenen Theile; je dicker das Eisenstück ist, desto leichter ist eine solche Ungleichmässigkeit wahrnehmbar, und eine desto längere Zeitdauer des Glühens ist erforderlich, um eine bestimmte Entkohlung herbeizuführen. Aus diesem Grunde pflegt man das Verfahren auf die Verarbeitung von Eisenstücken mit dünneren Querschnitten (ihre Stärke beträgt selten mehr als 25 mm) zu beschränken.

In den allermeisten Fällen unterwirft man Gusswaaren dem Glühfrischen, d. h. Gegenstände, welche schon zuvor durch Giessen eine ihre Verwendung zum sofortigen Gebrauche ermöglichende Form erhalten haben. Durch die stattfindende Umwandlung in schmiedbares Eisen erhalten sie nunmehr eine grössere Festigkeit und grössere Zähigkeit als das gewöhnliche Gusseisen. Der Vortheil des Verfahrens beruht auf dem Umstande, dass die Formgebung des Roheisens durch Giessen sich in zahlreichen Fällen mit geringeren Kosten bewirken lässt als die Herstellung eines gleich geformten Gegenstandes aus schmiedbarem Eisen durch Schmieden, Pressen und dergleichen, während die unmittelbare Herstellung von Formguss aus schmiedbarem Eisen um so grösseren Schwierigkeiten begegnet, je dünner die Querschnitte der zu giessenden Gegenstände sind und je kohlenstoffärmer das zu vergiessende Eisen ist, je rascher also die Erstarrung in den Gussformen sich vollzieht.

Jene für das Glühfrischen bestimmten Gusswaaren pflegt man, wenn ihr Gewicht unbedeutend ist, aus dem Tiegel zu giessen, bei grösserem Gewichte der einzelnen Stücke dagegen bedient man sich häufig des Kupolofens zum Schmelzen des Roheisens. Jene kleinen, aus dem Tiegel gegossenen Gegenstände pflegen beim Glühen eine vollständigere Entkohlung als die gröberen, aus dem Kupolofen gegossenen Gegenstände zu erleiden; erstere nennt man schmiedbaren Guss,

letztere gewöhnlich Temperstahl. Ein wesentlicher Unterschied in den Eigenschaften waltet nicht ob; für die Wahl der einen oder anderen Bezeichnung pflegt nur das vorausgegangene Schmelzverfahren, zum Theil auch die unten besprochenen Abweichungen beim Glühen, den Ausschlag zu geben.

Bei dem schon oben erwähnten, von Tunner eingeführten Verfahren der Glühstahlerzeugung wurden dünne, flache Eisenstäbe durch Glühen in Sand (oder später auch in Erzen) schmiedbar gemacht. Das Erzeugniss fand vornehmlich als Zusatz beim Tiegelstahlschmelzen Verwendung.

2. Die erforderliche Zusammensetzung des Roheisens und das Schmelzen.

Der Einfluss des Glühfrischens erstreckt sich nur auf den nichtgraphitischen Kohlenstoffgehalt des Roheisens; Graphit wird höchstens da verbrannt, wo er in unmittelbarer Berührung mit dem Glühmittel sich befindet. Weisses Roheisen muss demnach als Material für das Glühfrischen benutzt werden.

Ein Mangangehalt des Roheisens verzögert die Entkohlung. Ein von Forquignon[1]) versuchsweise benutztes Roheisen mit 1,78 Hunderttheilen Mangan und 3,79 Hunderttheilen Kohlenstoff enthielt selbst nach 72 stündigem Glühen noch 3,03 Hunderttheile Kohlenstoff. Gleiche Beobachtungen über den Einfluss des Mangans sind mehrfach gemacht worden. Ein Mangangehalt von 0,4 Hunderttheilen kann als Grenzwerth betrachtet werden, unterhalb dessen das Verfahren noch gut durchführbar ist.

Ein reichlicher Siliciumgehalt würde in einem kohlenstoffreichen Roheisen Graphitbildung veranlassen. Aus diesem Grunde ist auch ein siliciumreiches Roheisen nicht anwendbar. Dennoch ist ein mässiger Siliciumgehalt bei Herstellung von schmiedbarem Guss und Temperstahl unentbehrlich zur Erlangung dichter und scharfer Abgüsse. Siliciumfreies weisses Roheisen schwindet beim Erstarren reichlich und hat infolge davon eine starke Neigung zur Bildung von Hohlräumen (Seite 841). Es ist unmöglich, aus solchem Eisen Abgüsse zu erzielen, welche nicht da, wo die Erstarrung am längsten währte, Hohlstellen von verhältnissmässig erheblichen Abmessungen besässen, bei der Schwindung entstanden und mit Tannenbaumkryställchen (Seite 251) ausgefüllt. Mitunter senkt sich an dieser Stelle die Oberfläche des noch weichen Metalls, der Luft einen Zutritt in den entstandenen leeren Raum gewährend, der Abguss saugt; in anderen Fällen werden die Fehlstellen erst bei der Prüfung des schon geglühten Gegenstandes erkannt. Die Innenflächen des Hohlraumes sind dann in der Regel dunkelblau oder schwarz angelaufen, und die Giesser, gewöhnlich unbekannt mit der eigentlichen Entstehungsursache, betrachten diese „schwarzen Stellen“ als die gefährlichsten Feinde des Gelingens ihrer Arbeit. Durch einen mässigen Siliciumgehalt des Roheisens wird seine Schwindung und somit seine Neigung zur Bildung jener Fehlstellen verringert. Nach mehrfachen von mir angestellten

1) Vergleiche dessen unter Literatur aufgeführte Arbeiten.

Untersuchungen ist zur Erlangung eines guten Erfolges ein Siliciumgehalt von mindestens 0,4 Hunderttheilen erforderlich, besser noch ist ein solcher von 0,6 bis 0,8 Hunderttheilen.

Damit aber das manganarme Roheisen durch jenen nothwendigen Siliciumgehalt nicht zur Graphitbildung veranlasst werde, darf sein Kohlenstoffgehalt nicht hoch sein. In einem gut brauchbaren Roheisen geht der Kohlenstoffgehalt nicht erheblich über 3,0 Hunderttheile hinaus; mitunter beträgt er nicht mehr als 2,8 Hunderttheile. Nützlich ist ein niedriger Kohlenstoffgehalt auch insofern, als die für die Entkohlung erforderliche Zeitdauer dadurch abgekürzt wird; aber die Schwierigkeit des Giessens wächst, wenn der Kohlenstoffgehalt allzu tief sinkt.

Phosphor und Schwefel bleiben beim Glühen unverändert im Eisen zurück [1]) und beeinflussen dessen Eigenschaften ebenso wie die jedes anderen schmiedbaren Eisens. Daher darf auch der Gehalt des als Material dienenden Roheisens an diesen Körpern nicht hoch sein. 0,20 Hunderttheile Phosphor und 0,10 Hunderttheile Schwefel lassen sich in den gewöhnlicheren Fällen als höchstes zulässiges Maass bezeichnen.

Wenn durch vorstehende Angaben die chemische Zusammensetzung gekennzeichnet ist, welche die zum Glühen bestimmten Gegenstände besitzen müssen, so ist doch bei der Auswahl des Rohmateriales für die Darstellung des schmiedbaren Gusses und Temperstahles zu berücksichtigen, dass dem Giessen ein Schmelzen vorausgehen muss, welches in mehr oder minder erheblicher Weise die ursprüngliche Zusammensetzung ändert.

Die geringsten Aenderungen treten beim Tiegelschmelzen ein. Der Kohlenstoffgehalt wird auch beim Schmelzen in Graphittiegeln selten erheblich geändert, der Siliciumgehalt pflegt zuzunehmen.[2]) Letzterer Vorgang ist fast immer von Nutzen, da das vom Hochofen stammende weisse Roheisen selten schon so viel Silicium enthält, um ohne Weiteres gut brauchbar zu sein. Starke Ueberhitzung befördert die Siliciumreduction. Das Tiegelschmelzen, seit der Erfindung des Glühfrischens benutzt, ist daher das sicherste Verfahren zur Erlangung eines gut geeigneten Materiales und findet aus diesem Grunde trotz seiner hohen Kosten umfangreiche Verwendung. Als Einsatz in die Tiegel benutzt man neben den entstehenden Abfällen und Ausschussstücken auch in deutschen Giessereien gern ein aus den reinen Rotheisenerzen Cumberlands bei übersetztem Hochofengange erblasenes weisses Roheisen, welches nur sehr wenig Mangan (unter 0,1 Hunderttheil) und wenig Phosphor enthält, auch nicht reich an Kohlenstoff ist. Nach Erforderniss mischt man dieses Roheisen mit noch anderen Roheisensorten. Fehlt es an Silicium, so setzt man etwas graues Roheisen zu. Die Einrichtung der Tiegelöfen, das Arbeitsverfahren und der chemische Verlauf des Schmelzens sind bereits auf Seite 598 ff. ausführlich besprochen worden.

1) Schwefel kann sogar, wie schon erwähnt wurde, aus dem Glühmittel aufgenommen werden.

2) Vergleiche die Analysen auf Seite 604.

Erst seit etwa zwei Jahrzehnten bedient man sich, wenn schwerere Gegenstände, z. B. Laufräder, gefertigt werden sollen, auch für den regelmässigen Betrieb des Kupolofens zum Schmelzen, nachdem frühere Versuche, ihn für diesen Zweck zu verwenden, meistens unbefriedigende Erfolge geliefert hatten. Bei dem Kupolofenschmelzen pflegt der Kohlenstoffgehalt eines verhältnissmässig kohlenstoffarmen Eisens angereichert zu werden, während der Siliciumgehalt abnimmt (Seite 621, 623). Hierin und in dem Umstande, dass beim Kupolofenschmelzen Zufälligkeiten leichter als beim Tiegelschmelzen die Zusammensetzung des Erzeugnisses beeinflussen, liegt die grössere Schwierigkeit des Verfahrens. Um zu vermeiden, dass ein allzu kohlenstoffreiches Schmelzerzeugniss erfolge, pflegt man Abfälle schmiedbaren Eisens in reichlicher Menge (bis neun Zehntel vom Einsatzgewichte) als Schmelzmaterial zu verwenden; daneben ein siliciumreiches graues Eisen oder Siliciumeisen. Auf diese Weise lässt sich ein Erzeugniss gewinnen, dessen Kohlenstoffgehalt das oben angebene Maass nicht übersteigt[1]); ist der Siliciumgehalt zu niedrig ausgefallen, so lässt sich Abhülfe schaffen, indem man dem geschmolzenen Metalle noch Siliciumeisen zusetzt.

Vereinzelt hat man sich auch eines Siemensflammofens, einem Martinofen ähnlich, bedient, um das zum Giessen bestimmte Roheisen zu schmelzen. Die Wartung eines solchen Ofens aber ist weniger einfach als die eines Kupolofens, die Anlage- und Unterhaltungskosten sind erheblich höher; zudem erheischt der Siemensofen einen umfangreichen und ununterbrochenen Betrieb, um überhaupt Nutzen zu gewähren (Seite 137). Nur sehr ausnahmsweise kann daher seine Anwendung für den hier in Rede stehenden Zweck sich als zweckmässig erweisen.

3. Die Temperöfen nebst Zubehör.

Die Einrichtung der zum Glühfrischen bestimmten Oefen ist ziemlich mannigfaltig. Ein Unterschied beruht in der Art und Weise, wie das Einpacken der zu glühenden Gegenstände in das Glühmittel bewirkt wird. Zum Glühen kleinerer Gegenstände (schmiedbaren Gusses) pflegt man gusseiserne Glühtöpfe zu benutzen, welche ausserhalb des Ofens gefüllt und eingesetzt werden. Ihre Form ist cylindrisch, ihr Durchmesser gewöhnlich 250—300 mm, ihre Höhe 300—500 mm. Durch einen eisernen Deckel werden sie nach beendigter Füllung geschlossen. Mitunter versieht man sie mit angegossenen Füssen, damit sie auch von unten her Wärme aufnehmen können; doch vermehrt sich dadurch ihr Raumbedarf im Ofen.

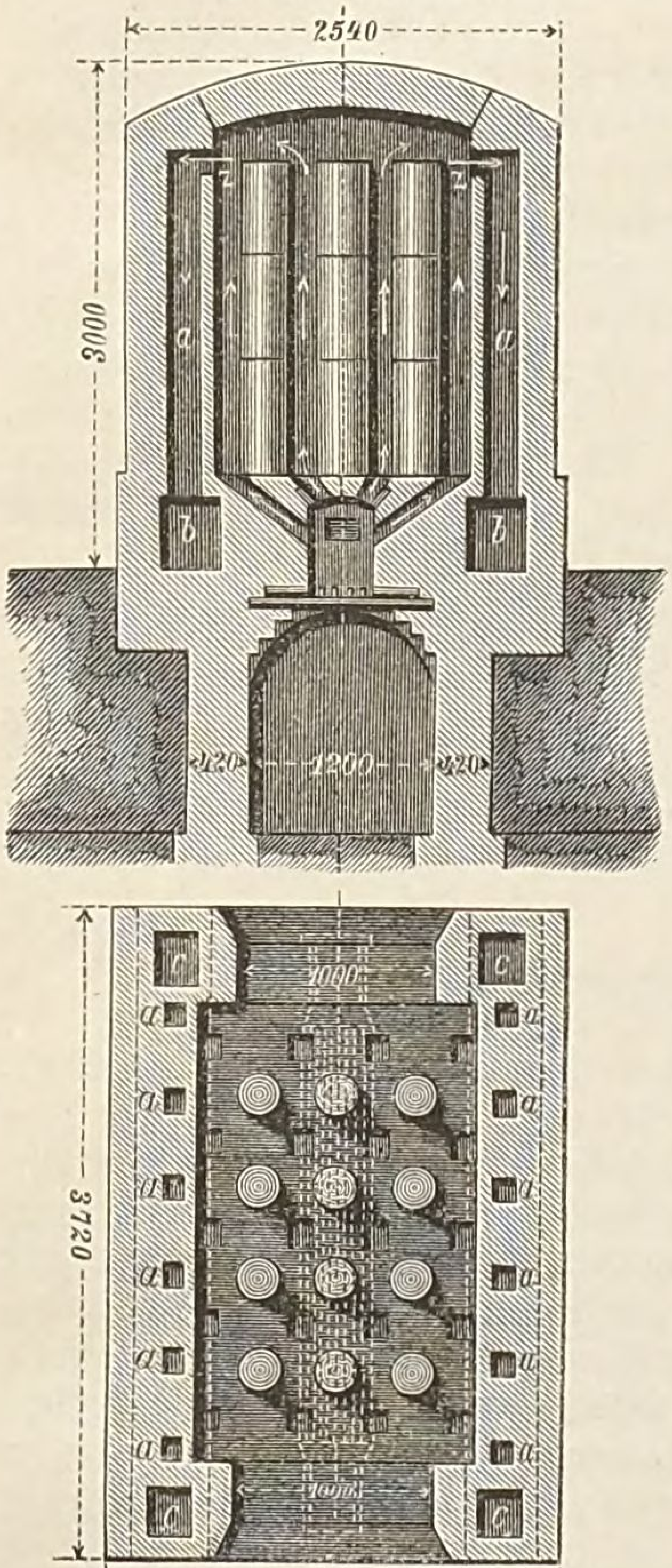
Fig. 300 und 301 zeigen einen solchen Ofen zum Glühen in Töpfen.[2]) Je drei Töpfe sind über einander gestellt, und der Ofen fasst 12 solcher Topfsätze, also im Ganzen 36 Glühtöpfe. Unterhalb der gemauerten Sohle des Ofens liegt, in der ganzen Länge des Ofens sich erstreckend, der überwölbte Rost, und die Feuerungsgase gelangen durch 20 Züge,

1) Den Namen „Temperstahl“ für die aus dem Kupolofen gegossenen Erzeugnisse hat man vermuthlich in der Erwartung gewählt, dass es möglich sein werde, ohne Weiteres Stahl durch Kupolofenschmelzen zu erzeugen. Dass diese Meinung irrthümlich sei, ist schon auf Seite 624 hervorgehoben worden.

2) Aus C. Rott, Die Fabrikation des schmiedbaren und Tempergusses.

welche in Fig. 300 im Durchschnitte, in Fig. 301 von oben zu sehen sind, in gleichmässiger Vertheilung in den Ofen. Nachdem sie zwischen den Töpfen emporgestiegen sind, wenden sie sich den beiden Längsseiten zu, ziehen durch 12 senkrechte, in den Ofenwänden angebrachte Kanäle *aa*.. abwärts, um in die beiden wagerechten Kanäle *bb* zu gelangen, und werden schliesslich durch die vier in den Ecken des Ofens angebrachten Schornsteinröhren *cc* .. in's Freie geführt.

Fig. 300 und 301.



Das Besetzen des Ofens erfolgt durch Thüröffnungen in den beiden Stirnseiten, welche vor dem Anfeuern vermauert werden.

Oefen dieser Art müssen nach beendigtem Glühen, damit das Austragen der geglühten und das Einbringen frisch gefüllter Töpfe möglich sei, kalt gelegt und dann auf's neue geheizt werden. Hierdurch entsteht ein Wärme- und Zeitverlust. Bei einem ununterbrochenen Betriebe lässt der Uebelstand sich umgehen, wenn man dem Ofen einen beweglichen, zum Auswechseln bestimmten Boden giebt. Während des Glühens des einen Einsatzes wird der zweite Boden ausserhalb des Ofens beladen; dann wird der erste Boden mit seiner Ladung entfernt und der zweite an seine Stellung gebracht.[1])

Grössere Gegenstände dagegen pflegt man sammt dem Glühmittel ohne Anwendung eiserner Glühtöpfe in einen gemeinschaftlichen grösseren Behälter zu verpacken, welcher gemauert ist und einen Bestandtheil des Ofens selbst bildet. Damit die Erhitzung gleichmässig ausfalle, dürfen die Wände des Behälters nicht zu stark und seine Breite nicht zu beträchtlich bemessen sein. Die Aufgabe lässt in verschiedener Weise sich lösen. Die im nächsten Abschnitte besprochenen Cementirungsöfen würden z. B. auch für diesen Zweck sich verwenden lassen und sind in der That dafür verwendet worden.[2]) Häufiger findet man auf deutschen Werken einen Ofen, dessen Decke sich — im Ganzen

1) Abbildung eines derartigen Glühofens mit beweglichem Boden (von Querfurth scher Ofen), welcher sich gut bewährt hat: A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Seite 369.

2) Z. B. bei der Darstellung des Glühstahles nach Tunners erwähntem Verfahren.

oder in einzelnen Stücken — abheben lässt, so dass auf diese Weise das Ofeninnere zugänglich wird; der zur Aufnahme der Gussstücke dienende Behälter ragt bis nahe unter die Decke und wird zunächst an seinen Aussenflächen durch die von unten aufsteigenden Gase erhitzt, welche alsdann ihren Abzug durch einen senkrechten, in der Mitte des Behälters befindlichen Kanal nehmen, so dass auch von hier aus Erhitzung stattfindet.[1])

4. Das Arbeitsverfahren.

Die zu glühenden Gussstücke werden nach dem Giessen langsam abgekühlt und dann sorgfältig von anhaftendem Formmaterial gereinigt. Kleinere Gegenstände bringt man zu diesem Zwecke häufig in umlaufende Trommeln, wo sie selbst sich gegenseitig abscheuern; grössere werden mitunter an einem Schleifsteine bearbeitet.

Alsdann folgt das Einpacken in die Glühtöpfe oder in die gemauerten Behälter des Glühofens. Benutzt man eiserne Gefässe, so pflegt man ihre Innenfläche mit Kalkmilch zu bestreichen, um ein Anfritten der Tempermasse zu verhindern. Ueber die Wahl der letzteren (des Glühmittels) ist schon oben das Erforderliche gesagt worden.

Zunächst kommt auf den Boden des Gefässes eine mehrere Centimeter hohe Schicht des Glühmittels, auf diese werden die Stücke des einzubettenden Gusses in möglichst gleichmässiger Vertheilung gelegt, doch so, dass sie weder sich unter einander, noch die Wände des Gefässes berühren. Die Zwischenräume werden sorgfältig mit dem Glühmittel ausgefüllt, oben darauf kommt wieder eine Schicht des letzteren, auf welcher abermals eine Lage Gussstücke eingebettet wird u. s. f. Das Einpacken muss sehr sorgfältig ausgeführt werden, wenn der Zweck des Glühens erreicht werden soll. Bei mangelhafter Verpackung der Gegenstände, deren Folge eine ungenügende Berührung mit dem Glühmittel ist, kann es vorkommen, dass von zwei ganz gleichen Gussstücken das eine beinahe völlig entkohlt ist, während das andere kaum stahlartige Beschaffenheit angenommen hat.

Sind die Gefässe in der beschriebenen Weise gefüllt, so giebt man zu oberst noch eine Lage des Glühmittels und dann als Verschluss einen Deckel, welcher bei eisernen Gefässen aus Gusseisen oder Blech besteht, beim Einbetten im Ofen selbst aus Ziegeln gebildet wird.

Nun werden die Glühtöpfe, falls man solche benutzte, an Ort und Stelle gebracht, die Einsatzöffnungen werden geschlossen, und das Anfeuern kann beginnen.

Die Zeitdauer, während welcher die Gegenstände der Erhitzung preisgegeben werden, richtet sich zwar nach deren Grösse und dem beabsichtigten Grade der Entkohlung, für gewöhnliche kleinere Gegenstände indess, welche bis zur Schweissbarkeit entkohlt werden sollen, pflegt eine volle Woche erforderlich zu sein, wobei 2 Tage auf das Anfeuern und die allmähliche Steigerung der Temperatur, 3 Tage auf das Vollfeuer und 2 Tage auf die allmähliche Abkühlung zu rechnen

1) Abbildungen solcher Oefen: Rott, Fabrikation des schmiedbaren und Tempergusses; auch A. Ledebur, Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Seite 370.

sind. Grössere Gegenstände müssen noch ein bis zwei Tage länger im Vollfeuer erhalten werden. Bei Oefen mit auswechselbarem Boden dagegen genügt, wenn die Gegenstände in den bereits heissen Ofen eingebracht wurden, ein etwa fünftägiges Glühen. Die erforderliche Temperatur ist Hellrothgluth. Eine genaue Regelung der Temperatur ist wichtig. In zu niedriger Temperatur verläuft die Entkohlung zu langsam oder unterbleibt gänzlich; in zu hoher Temperatur ist eine Beschädigung der Glühgefässe, ein Zusammensintern der Tempermasse mit dem zu glühenden Eisen oder eine Umformung der allzu weichen Eisentheile durch den Druck der Tempermasse zu befürchten. Gewöhnlich beurtheilt man die im Ofen herrschende Temperatur nach dem Maasse des Erglühens der durch ein Schauloch beobachteten inneren Ofentheile; sicherer ist die Anwendung eines Pyrometers. Durch den Versuch lässt sich in letzterem Falle bald ermitteln, bei welcher Temperatur des Ofens der Verlauf am günstigsten ist.

Wenn schliesslich die Abkühlung beendet ist, wird der Ofen geöffnet, die Gefässe werden ihres Inhaltes entleert, die geglühten Gegenstände werden einzeln mit Hammer und Feile geprüft, ob sie weich und dehnbar genug sind, und wenn die Prüfung ein befriedigendes Ergebniss geliefert hat, werden sie wiederum in umlaufenden, etwas scharfkantigen Sand enthaltenden Trommeln von der anhaftenden Tempermasse gereinigt. Zu hart befundene Stücke werden zurückgelegt, um einem abermaligen Tempern unterzogen werden.

5. Der chemische Verlauf des Glühfrischens.

Die Eigenthümlichkeiten des Glühfrischens lassen folgern, dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen nur der Kohlenstoffgehalt sich verringere, der Mangan-, Silicium- und Phosphorgehalt keinerlei Aenderung erfahre, der Schwefelgehalt aber durch Aufnahme aus dem Glühmittel angereichert werden könne. Nachstehende von Davenport ausgeführte Untersuchungen [1]) liefern den Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme.

	C	Si	P	S	Mn
Erster Versuch.					
Vor dem Glühen	3,44	0,44	0,31	0,059	0,53
Nach einmaligem Glühen . .	1,51	0,44	0,32	0,067	0,58
„ zweimaligem „ . . .	unter 0,10	0,45	0,31	0,083	0,52
Zweiter Versuch.					
Vor dem Glühen	3,48	0,58	0,28	0,10	0,58
Nach einmaligem Glühen . . .	0,43	0,61	0,29	0,14	0,61
„ zweimaligem „ . . .	unter 0,10	0,61	0,29	0,16	0,57.

Dass der Gehalt an Silicium selbst nach 144stündigem Glühen in Erzen oder in Sand keine wesentliche Veränderung erfahre, beobachtete auch Forquignon [2]); z. B.

vor dem Glühen . . . 0,45; nach dem Glühen in Sand . . . 0,44
„ „ „ . . . 0,77; „ „ „ „ Erzen . . . 0,77.

Dagegen hat Richter gefunden, dass bei der Darstellung des Tunnerschen Glühstahles eine Verringerung des Silicium- und Mangan-

1) Vergleiche Literatur.
2) Vergleiche Literatur.

gehaltes durch Aussaigerung stattfinden könne.[1]) Seine Beobachtung lässt auf eine aussergewöhnlich hohe Temperatur beim Glühen schliessen und bildet eine Ausnahme von der Regel.

Entnimmt man dem Glühofen eine Probe, bevor die für eine annähernd völlige Entkohlung erforderliche Zeitdauer verstrichen ist, und bricht sie durch, so gewahrt man meistens einen dunkeln Kern, eingeschlossen von einer Schicht entkohlten Eisens. Die Entkohlung war noch nicht vollständig bis in das Innere vorgedrungen; die Dunkelfärbung des weniger entkohlten Metalls aber rührt von gebildeter Temperkohle her. Bei Fortsetzung des Glühens tritt dann die Temperkohle aus. Forquignon verfolgte die Umwandlungen, welche die Kohlenstoffformen beim Glühen erleiden, durch wiederholte Untersuchung derselben Proben nach verschiedener Zeitdauer des Glühens; es ergab sich hierbei[2]):

	Vor dem Glühen	Nach 36stünd. Glühen in Rotheisenerz	Nach 72stünd. Glühen in Rotheisenerz	Nach 144stünd. Glühen in Rotheisenerz
Erster Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	2,94	2,13	0,96	0,84
Temperkohle	Spur	0,47	0,84	0,26
zusammen	2,94	2,60	1,80	1,10
Zweiter Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	3,27	1,55	1,25	0,90
Temperkohle	0,00	1,45	1,09	0,51
zusammen	3,27	3,00	2,34	1,41
Dritter Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	3,12	0,94	1,02	0,81
Temperkohle	Spur	1,61	1,19	0,50
zusammen	3,12	2,55	2,21	1,31
Vierter Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	3,51	1,17	0,85	0,71
Temperkohle	0,02	2,28	1,56	0,81
zusammen	3,53	3,45	2,41	1,52

1) Jahrbuch der österr. Bergakademieen 1860, Seite 359. Die von Richter gefundenen Ergebnisse sind folgende:

	Kohlenstoff	Silicium	Schwefel	Mangan
1. Probe.				
Vor dem Glühen	3,57	0,13	0,009	0,61
Nach „ „	1,17	0,002	0,010	0,19
2. Probe.				
Vor dem Glühen	3,42	0,11	0,008	0,58
Nach „ „	1,20	0,008	0,011	0,21

Auch Gottlieb beobachtete bei der Glühstahlbereitung nach Tunners Verfahren eine Abnahme des Siliciumgehaltes von 0,01 auf 0,25 Hunderttheile (dasselbe Jahrbuch 1857, Seite 105).

2) Die Temperkohle ist von Forquignon, der früheren Ansicht gemäss, als Graphit bezeichnet, Karbid- und Härtungskohle zusammen als „gebundene“ Kohle.

Bei allen diesen Versuchen lässt sich erkennen, dass zunächst beim Glühen aus der Härtungs- und Karbidkohle stets Temperkohle entsteht, welche allmählich verbrennt, so dass infolge hiervon nun auch der Gesammtkohlenstoffgehalt abnimmt. Ob aller Kohlenstoff zunächst in Temperkohle übergehen muss, bevor es aus dem Eisen auszutreten vermag, oder ob nur ein Theil davon diese Form annimmt und ein anderer Theil sofort verbrennen kann, ist bislang nicht mit Sicherheit nachgewiesen worden.

Der Umstand, dass bei den hier erwähnten Versuchen der Gesammtkohlenstoffgehalt des geglühten Eisens trotz der ziemlich langen Zeitdauer des Glühens noch beträchtlich ist, lässt auf eine verhältnissmässig niedrige Temperatur beim Glühen schliessen. Auch in fertig geglühten Gegenständen mit niedrigem Kohlenstoffgehalte findet man jedoch meistens noch Temperkohle.

Da das Glühfrischen eine Temperatur von etwa 1000 ° C. erheischt, die Karbidkohle aber erst beim Abkühlen in einer niedrigeren Temperatur aus der Härtungskohle entsteht (Seite 276), lässt sich folgern, dass das Glühen an und für sich ohne Einfluss auf das Verhältniss der Karbidkohle zur Härtungskohle sei, welches vornehmlich durch die Art und Weise der Abkühlung beeinflusst wird. Da aber in der Regel — dem geschilderten Arbeitsverfahren gemäss — die Abkühlung langsam von statten geht, pflegt der Gehalt an Härtungskohle selbst bei noch ziemlich hohem Gesammtkohlenstoffgehalte nicht beträchtlich zu sein. In einem Stücke schmiedbaren Gusses, welches wegen mangelhafter Verpackung nicht genügend entkohlt war, fand ich

Härtungskohle	0,10
Karbidkohle	0,71
Temperkohle	0,90
zusammen	1,71

Durch Versuche im Grossen wie im Kleinen ist die schon oben berührte Thatsache nachgewiesen worden, dass eine Entkohlung auch beim Glühen in solchen pulverförmigen Körpern möglich ist, welche selbst keine chemische Einwirkung ausüben; z. B. in Quarzsand. Forquignon fand beim Glühen manganarmen weissen Roheisens in Quarzsand, welcher fast aus reiner Kieselsäure bestand, folgende Abnahme der Kohlenstoffgehalte und Veränderung der Kohlenstoffformen:

	Vor dem Glühen	Nach 72stünd. Glühen in Sand	Nach 144stünd. Glühen in Sand
Erster Versuch.			
Härtungs- und Karbidkohle	2,94	1,45	1,00
Temperkohle	0,00	0,16	0,50
zusammen	2,94	1,61	1,50
Zweiter Versuch.			
Härtungs- und Karbidkohle	3,27	1,82	1,26
Temperkohle	0,00	1,20	1,18
zusammen	3,27	3,02	2,44

Jedenfalls bildet hier, wie schon erwähnt wurde, die eingeschlossene Luft das Entkohlungsmittel; man macht im Grossen keine Anwendung des Verfahrens, weil die Entkohlung langsamer als bei Benutzung von Eisenoxyden von statten geht. Auch bei Tunners Verfahren der Glühstahldarstellung ersetzte man später den Sand durch Eisenerze.

Jedoch auch vollständig trockener Wasserstoff sowohl als Stickstoff vermag, in Gelbgluth über das kohlenstoffhaltige Eisen geleitet, dessen Entkohlung zu bewirken. Versuche Forquignons über diese Einwirkung lieferten nachstehende Ergebnisse:

	Kohlenstoffgehalt Hunderttheile
Erster Versuch.	
Vor dem Glühen	3,27
Nach 46stündigem Glühen im Wasserstoffstrome	1,83
Zweiter Versuch.	
Vor dem Glühen	2,94
Nach 46stündigem Glühen in dem Wasserstoffstrome, welcher bereits auf die Probe des ersten Versuches eingewirkt hatte	2,30
Dritter Versuch.	
Vor dem Glühen	2,94
Nach 62stündigem Glühen im Wasserstoffstrome bei dunkler Rothgluth	3,02
Nach abermaligem 48stündigen Glühen im Wasserstoffstrome bei heller Rothgluth	1,79
Vierter Versuch.	
Vor dem Glühen	2,91
Nach 48stündigem Glühen im Stickstoffstrome	2,44

In dem bei Benutzung von Wasserstoff entweichenden Gase wurde Kohlenwasserstoff, in dem Gase, welches bei Benutzung von Stickstoff entwich, Cyan gefunden.

Diese Einwirkung der Gase auf den Kohlenstoffgehalt des Roheisens kann die Erklärung für die auffällige Erscheinung liefern, dass selbst beim Glühen eines für das Glühfrischen geeigneten weissen Roheisens in Holzkohle nicht selten eine Abnahme des Kohlenstoffgehaltes bemerkbar ist; z. B.:

	Kohlenstoffgehalt Hunderttheile
Erster Versuch (nach Forquignon).	
Vor dem Glühen	2,94
Nach 144stündigem Glühen in Holzkohle	2,26
Zweiter Versuch (von mir ausgeführt).	
Vor dem Glühen	2,82
Nach 108stündigem Glühen in Holzkohle	2,29
Dritter Versuch (von mir ausgeführt).	
Vor dem Glühen	2,31
Nach 72stündigem Glühen in Holzkohle	1,86
Vierter Versuch (von mir ausgeführt).	
Vor dem Glühen	3,83
Nach 108stündigem Glühen in Holzkohle	3,39

Noch mehrere andere Versuche lieferten das nämliche Ergebniss, während andererseits bei einigen gleichen Versuchen [1]) der Kohlenstoff-

1) Die sämmtlichen Versuche über die Wirkung des Glühens von Roheisen in Holzkohle sind mitgetheilt in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 381 und 777.

gehalt keine Aenderung erlitt. Die Ursache der Verminderung des Kohlenstoffgehaltes in den verschiedenen erwähnten Fällen kann nur der Wasserstoff sein, welcher beim Glühen der stets Feuchtigkeit enthaltenden Holzkohle sich bildete. Der Vorgang verdient Beachtung, obschon er für den Betrieb des Glühfrischens ohne Belang ist.

6. Die Erzeugnisse.

Ziemlich vielseitig ist die Anwendung, welche der schmiedbare Guss findet. Kleine Maschinentheile mannigfacher Form für landwirthschaftliche Maschinen, Nähmaschinen und zahlreiche andere Maschinen werden in schmiedbarem Guss gefertigt, sofern Gusseisen für die betreffende Verwendung zu spröde ist, die unmittelbare Herstellung der Gegenstände aus schmiedbarem Eisen wegen der oben besprochenen Gründe aber nicht thunlich erscheint; Schraubenschlüssel, Theile zu Schlössern und viele andere Gegenstände erhalten ihre Herstellung gleichfalls häufig durch das besprochene Verfahren.

Beispiele der von mir gefundenen Zusammensetzung gut bewährten schmiedbaren Gusses sind folgende:

	Gesammt-kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Phosphor
Aus einer Wiener Giesserei .	0,38	0,92	0,21	0,05	0,07
„ „ deutschen „ .	0,35	0,69	0,16	0,30	0,05
Wie vorstehend	0,25	0,41	0,15	n. best.	n. best.

Wenn die hier erwähnten Stücke trotz des noch verhältnissmässig hohen Kohlenstoffgehaltes sich thatsächlich durch Zähigkeit auszeichneten, so findet der Umstand seine genügende Erklärung darin, dass bei dem langsamen Abkühlen nach langem Glühen Härtungskohle nur in unerheblicher Menge noch zurückgeblieben sein kann. Der Kohlenstoffgehalt war grösstentheils als Karbidkohle, zum geringen Theile vermuthlich auch als Temperkohle zugegen. Es folgt hieraus, dass eine annähernd vollständige Entkohlung nicht unbedingt nothwendig ist, um gut brauchbaren schmiedbaren Guss zu erzielen.

Mehrfach sind Festigkeitsversuche mit schmiedbarem Guss angestellt worden, deren Ergebnisse erkennen lassen, dass man zwar im Stande ist, durch dass Glühfrischen ein Erzeugniss zu gewinnen, dessen Eigenschaften denen des Schweisseisens nahe stehen, aber infolge unvermeidlicher Zufälligkeiten beim Glühen nicht unerheblichen Schwankungen unterliegen. Bei einer grösseren Reihe von Festigkeitsversuchen, welche bei der Königlichen technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg mit drei verschiedenen Probelieferungen schmiedbaren Gusses angestellt wurden[1]), erhielt man nachstehende Durchschnittsziffern:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm Kilogramm	Querschnittsabnahme in Hunderttheilen	Längenausdehnung auf 200 mm ursprüngliche Länge Hunderttheile
Erste Versuchsreihe .	25,1	8,8	2,5
Zweite „ .	25,8	8,2	2,5
Dritte „ .	38,6	2,0	0,0

1) Mittheilungen der Königlichen technischen Versuchsanstalt 1886, Seite 131.

Die durchschnittliche Festigkeit ist hier etwas, die Zähigkeit erheblich geringer, als man von gutem Schweisseisen erwarten darf. Trotzdem zeigt nach gut gelungenem Glühen der schmiedbare Guss gewöhnlich ein ziemliches Maass von Biegsamkeit, dank seinem niedrigen Phosphorgehalte und der langsamen Abkühlung nach dem Glühen. Stücke von 2 bis 3 mm Stärke lassen sich gewöhnlich kalt über einen mässig starken Dorn um 180 Grad biegen, bisweilen sogar flach zusammenschlagen. Sofern die Entkohlung weit genug fortgesetzt wurde, pflegt der schmiedbare Guss auch gut schweissbar zu sein.

Temperstahlguss findet für gröbere Gegenstände Verwendung, zumal für solche, bei denen eine sehr weitgehende Entkohlung nicht erforderlich ist. Insbesondere werden Räder für kleinere Eisenbahnfahrzeuge (z. B. Grubenwagen) in grosser Zahl aus diesem Material gefertigt. Da diese Räder während des Glühens sich leicht verziehen, werden sie nach beendigter Entkohlung glühend in eine eiserne Form gelegt und durch den Druck einer Presse gerichtet.

Ueber die Verwendung des Glühstahles (nach Tunners Verfahren erzeugt) wurde bereits früher Mittheilung gemacht. Dass auch bei diesem Verfahren, zumal wenn man Erze zum Glühen benutzt, eine sehr beträchtliche Entkohlung stattfinden kann, beweist die nachstehende, von mir ausgeführte Analyse eines solchen zu Donawitz im Jahre 1880 erzeugten Glühstahles:

Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Mangan	Kupfer, Nickel
0,05	0,00	0,04	0,57	0,07

Der Name Stahl passt auf dieses Erzeugniss nicht mehr.

Literatur.

C. Rott, Die Fabrikation des schmiedbaren und Tempergusses. Separatabdruck aus dem Praktischen Maschinenconstructeur. Leipzig 1881.

H. Wedding, Die Darstellung des schmiedbaren Eisens. Braunschweig 1875, S. 464—491.

A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei. Zweite Auflage. Weimar 1892, S. 362—374.

R. Davenport, Chemische Untersuchungen über einige Punkte der Darstellung schmiedbaren Gusses. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCVII, S. 51 (aus Mechanics Magazine 1871, p. 392).

M. Forquignon, Recherches sur la fonte malléable et sur le recuit des aciers. Annales de chimie et de physique, série 5, tome XXIII, p. 433 (1881); auszugsweise bearbeitet und mit Ergänzungen versehen in „Stahl und Eisen“ 1886, S. 380 und 777.

C. Ricketts, Physical tests of malleable cast iron. Iron, vol. XXV, p. 358.

Ergebnisse der Untersuchung von schmiedbarem Guss. Mittheilungen der Königlichen technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg 1886, S. 131.

VI. Die Darstellung des Cementstahles.

1. Allgemeines.

Kohlenstoffarmes Eisen — Schmiedeeisen — wird anhaltend in Berührung mit Holzkohlen, ausnahmsweise auch wohl mit anderen kohlenstoffhaltigen Körpern, geglüht. Es nimmt dabei Kohlenstoff auf und wandelt sich in Stahl um.

Das Verfahren ist schon ziemlich alt und scheint bereits schon im 17. Jahrhunderte bekannt gewesen zu sein, wie sich aus dem Umstande schliessen lässt, dass es in dem mehrfach erwähnten, im Jahre 1722 erschienenen Werke Réaumurs[1]) schon vollständig beschrieben wird. In England wurde es während des 18. Jahrhunderts vielfach betrieben; in der Remscheider Gegend, wo jetzt die Hauptstätte der deutschen Cemenstahldarstellung ist, wurde das Verfahren um 1811 eingeführt; in Oesterreich noch später.

Der oben kurz geschilderte Weg für die Cementstahldarstellung ist offenbar umständlicher, das Verfahren ist erheblich kostspieliger als die unmittelbare Darstellung von Stahl im Frischfeuer, im Puddelofen, in der Bessemerbirne, im Martinofen. Der Grund, weshalb es trotzdem in Anwendung ist und vorläufig auch noch eine gewisse Bedeutung sich bewahren wird, liegt in dem Umstande, dass man hei jenen Frischverfahren in der Regel ein um so reineres, insbesondere an schädlichen Fremdkörpern reineres Erzeugniss erhalten kann, je weiter die Entkohlung getrieben wurde. Man erhält mithin auch einen reineren und deshalb für viele Verwendungen geeigneteren Stahl durch die Cementirung des kohlenstoffarmen Eisens als durch die unmittelbare Herstellung aus Roheisen. Die höheren Kosten des Cementstahles aber setzen seiner Verwendung eine Grenze und beschränken sie auf die Herstellung feinerer Werkzeuge, Feilen und dergleichen, wobei er in den meisten Fällen erst wieder als Material zur Darstellung von Tiegelstahl benutzt wird.

Der Umstand, dass Schweisseisen, wenn man von dessen mechanisch eingemengter Schlacke absieht, chemisch reiner zu sein pflegt als Flusseisen — letzteres enthält ziemlich regelmässig Mangan, nicht selten Silicium und grössere Mengen Schwefel als Schweisseisen —, erklärt es, dass man fast nur ersteres zur Cementstahldarstellung benutzt. Die dem Schweisseisen eingemengte Schlacke wird bei dem anhaltenden reducirenden Glühen zum grossen Theile unter Reduction ihres Eisengehaltes zerstört; wird der Cementstahl später in Tiegeln geschmolzen, so wird sie, wie stets bei der Tiegelstahldarstellung, vollständig entfernt.

Immerhin verdient auch für die Cementstahldarstellung das schlackenreinere Eisen den Vorzug, schon deshalb, weil durch die Anwesenheit eisenoxydulreicher Schlackenkörnchen die Kohlung an Gleichmässigkeit verlieren muss. Geschätzt ist deshalb für diesen Zweck Frischfeuereisen, ganz besonders das durch seine Reinheit von Phosphor aus-

1) L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu.

gezeichnete schwedische derartige Eisen; häufiger freilich findet in Ländern, wo der Frischfeuerbetrieb eingegangen ist, Puddeleisen, aus reinen Roheisensorten mit Vorsicht erzeugt, Verwendung; so in Westfalen, in England und anderwärts.

2. Der Cementirofen.

Die zu cementirenden Gegenstände werden in gemauerte Kisten verpackt, welche 2,75—3,5 m lang, 0,8—1,2 m hoch und 0,8—1 m breit zu sein pflegen. Ein Ofen enthält eine oder zwei solcher Kisten; dreikistige Oefen sind bisweilen versucht worden, haben sich aber wegen der grösseren Ungleichmässigkeit der Erhitzung nicht besonders bewährt. Eine Kiste pflegt für die Aufnahme von 8—14 t Eisen eingerichtet zu sein.

Die Einrichtung des Ofens, in welchem die Kisten eingemauert sind, zeigt insofern in allen Gegenden Uebereinstimmung, als der Rost, von welchem aus die Heizung bewirkt wird, unterhalb der Kisten liegt und sich in ihrer ganzen Längenausdehnung erstreckt, während eine Anzahl Kanäle die Feuerungsgase unter dem Boden und an den Seitenwänden der Kisten vertheilen, bis sie schliesslich oberhalb der Kisten nach einer Esse entweichen; in den Einzelheiten der Einrichtung aber zeigen sich verschiedene Abweichungen.

Bei den englischen Cementiröfen, welche auch in anderen Ländern ausserhalb Englands vielfach zur Anwendung gekommen sind, dient eine gemeinschaftliche Rostfeuerung zur Heizung zweier Kisten. Fig. 302 und 303 auf Seite 994 zeigen in 1/100 der wirklichen Grösse diese Einrichtung.[1]) *A A* sind die beiden Kisten, parallel neben einander stehend, mit so viel Zwischenraum zwischen sich, als die Breite der Züge für die zwischen den Kisten aufsteigenden Gase betragen soll. *a* ist der Rost, von beiden Seiten des Ofens aus zugänglich. Die Gase steigen von hier aus theils unmittelbar zwischen den Kisten empor, theils gelangen sie in die unter den Böden der Kisten angebrachten Querzüge *c c* (Fig. 302), um schliesslich an den entgegengesetzten Seiten der Kisten aufzusteigen. In Fig. 303 sind die oberen Mündungen der senkrechten Seitenzüge — ebenfalls mit *c c* bezeichnet — als schwarze Rechtecke erkennbar. Beide Kisten stehen demnach auf und zwischen einer Anzahl von Kanälen, geschieden durch schmale Mauerkörper, welche zum Tragen der Kisten und zur Unterstützung der Seitenwände dienen. Eine Zugregelung in dem Falle, dass die Kisten an einzelnen Stellen zu stark, an anderen zu schwach erhitzt werden, ist unschwer durch vollständige oder theilweise Abdeckung einzelner Züge an den zu heissen Stellen zu bewirken. Beide Kisten sind durch ein Gewölbe überspannt, in welchem sich einzelne, gleichmässig vertheilte Oeffnungen *d d* . . für die entweichenden Gase befinden; das Ganze ist unter der Kuppel *B* der Rauchabzugsöffnung *e* angeordnet. Zur Verstärkung des Zuges, hauptsächlich auch zur besseren Verdünnung des entweichenden Rauches,

1) Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde Fig. 199 u. 200. Genau die gleiche Einrichtung der Cementirungsöfen war schon im vorigen Jahrhunderte in Grossbritannien üblich; vergleiche Jars, Metallurgische Reisen (1777), Band I, Seite 363.

pflegt man den letzteren aus *e* nicht unmittelbar in's Freie austreten zu lassen, sondern in einen entsprechend hohen Schornstein zu führen, welcher entweder, wie z. B. auf österreichischen Werken, cylindrisch geformt ist und unmittelbar auf der Kuppel *B* steht, oder welcher —

Fig 302.

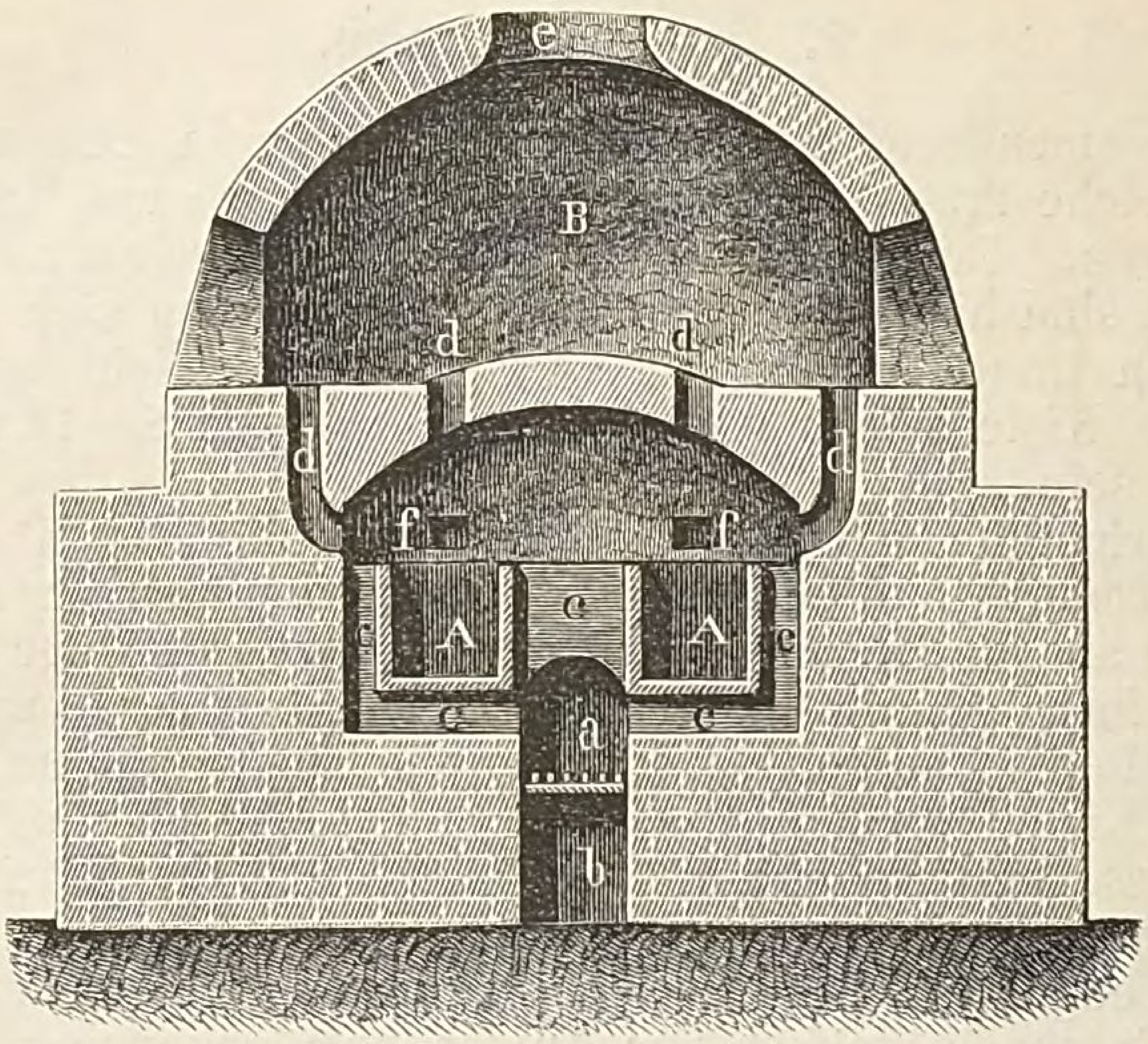
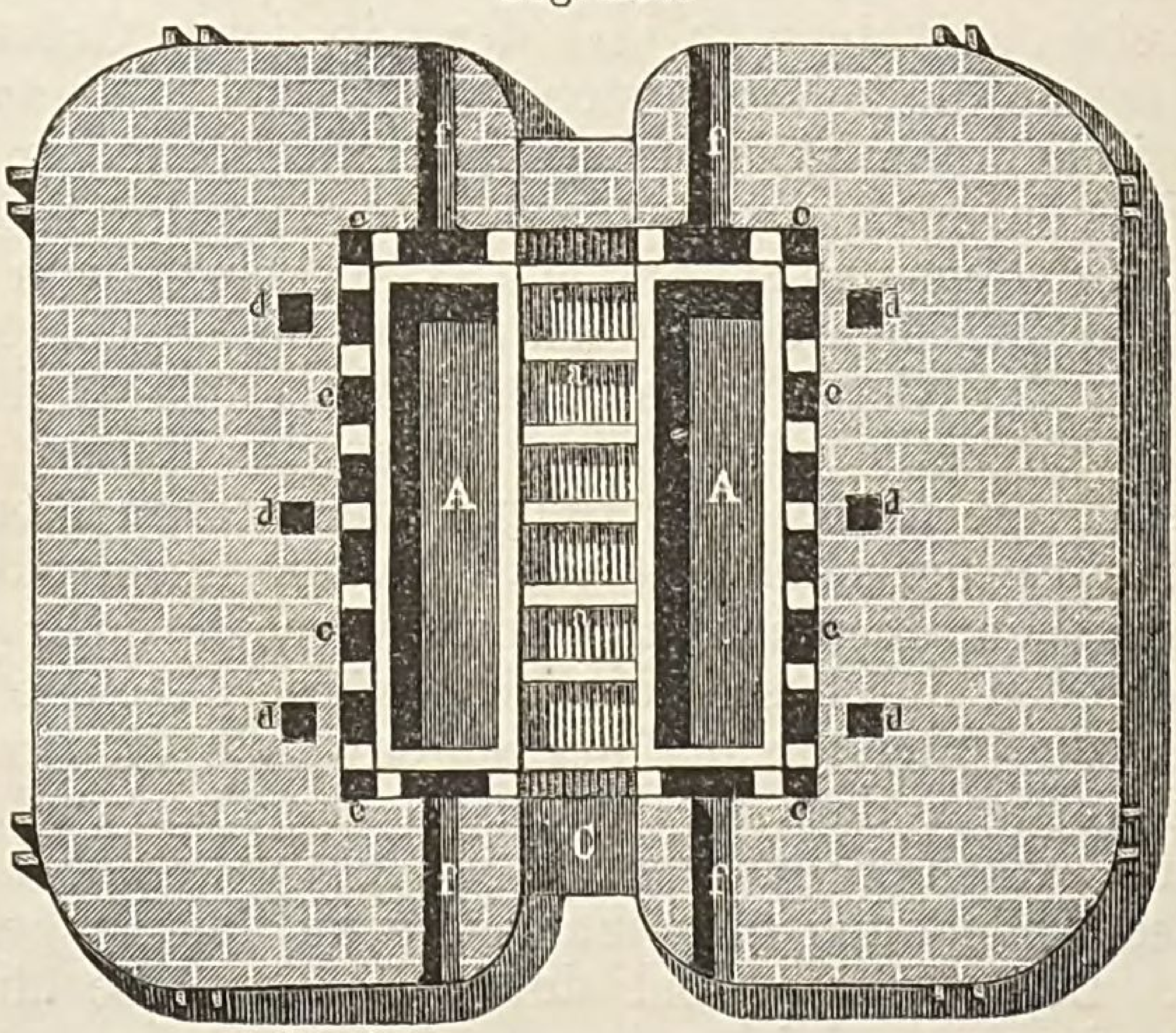


Fig. 303.



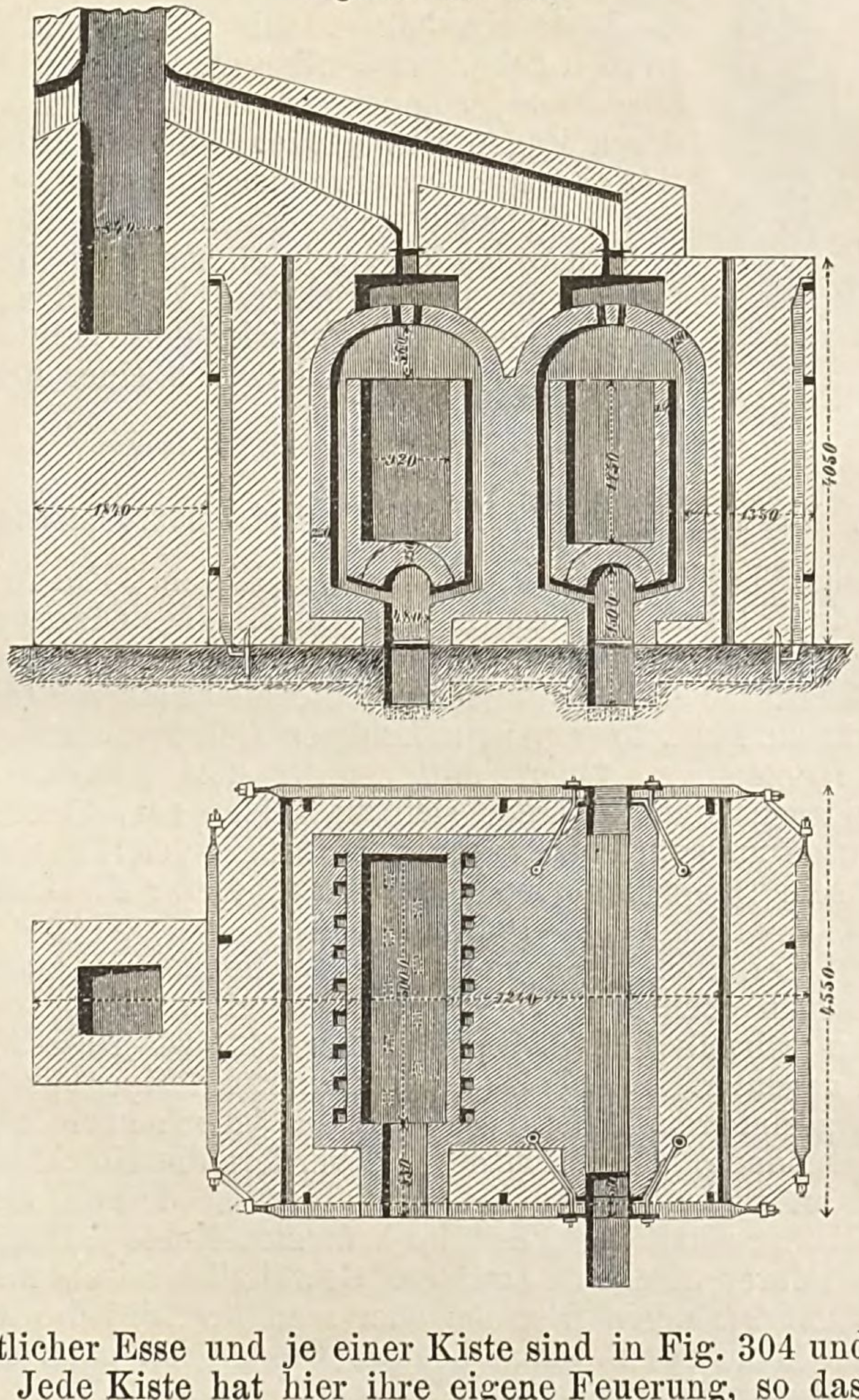
wie es in der Gegend von Sheffield üblich sein soll — Kegelform besitzt und unten so weit im Durchmesser ist, dass er, von besonderen, auf dem Erdboden ruhenden Pfeilern getragen, den ganzen Ofen sammt seiner Kuppel einschliesst.

ff sind Oeffnungen im Mauerwerke, durch welche das Einbringen und Herausnehmen der Stäbe besorgt wird; zwischen den beiden Oeff-

nungen befindet sich ein in der Abbildung nicht angedeutetes Mannloch in der Ofenmauer, durch welches die zum Füllen und Entleeren bestimmten Arbeiter in den Ofen einsteigen können. Vor dem Anheizen des Ofens wird dieses Mannloch vermauert.

Etwas einfacher ist die Einrichtung der Cementiröfen, welche in der Remscheider Gegend benutzt werden. Zwei solche Oefen mit ge-

Fig. 304 und 305.

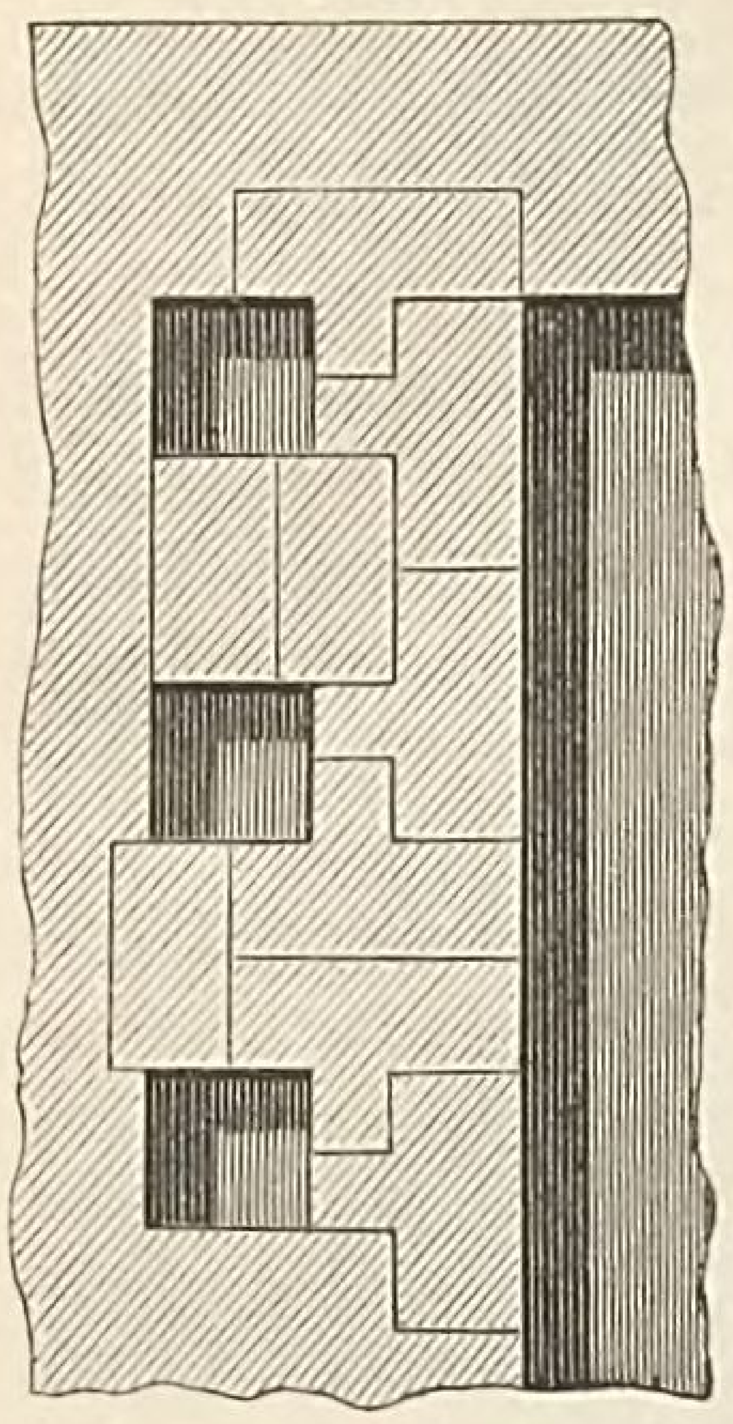


meinschaftlicher Esse und je einer Kiste sind in Fig. 304 und 305 dargestellt.[1]) Jede Kiste hat hier ihre eigene Feuerung, so dass man im Stande ist, erforderlichenfalls zur Erlangung verschiedener Härtegrade die Kisten verschieden stark zu erhitzen; wegen des Wegfalls der gemeinschaftlichen Kuppel ist die ganze Anlage billiger.

1) *Zeitschr. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl.* 1879, Taf. 2, Fig. 3 und 4 (nach Mannesmann).

Auch Gasfeuerung hat man bisweilen zur Heizung der Kisten benutzt, aber seltener als Rostfeuerung.[1])

Fig. 306.



Die Kisten werden entweder aus Masse gestampft oder häufiger aus feuerfesten Steinen — Sandsteinen oder Schamottesteinen — gemauert. Von Wichtigkeit ist es hierbei, dass die Fugen dicht genug schliessen, um während des Glühens den Zutritt atmosphärischer Luft von aussen in die Kiste abzuhalten. Die Wände und der Boden werden daher gewöhnlich aus mehreren hinter und über einander angebrachten Steinlagen hergestellt, deren Fugen sich decken, so dass selbst bei der Erweiterung der einzelnen Fuge der dahinter liegende Stein sie noch verdeckt. Mitunter auch benutzt man besondere, in einander greifende Formsteine, um einen dichteren Verband zu erzielen. Fig. 306 zeigt im Grundriss den Steinverband an den Zügen und Seitenwänden einer Remscheider Kiste.

3. Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse.

Die Arbeit beginnt mit dem Laden der Kisten. Ein Arbeiter begiebt sich durch das Mannloch in den Ofen, ein anderer reicht von aussen her die erforderlichen Materialien hinein.

Die Eisenstäbe müssen in jedem Falle etwas kürzer sein als die Kiste, damit sie Platz finden, beim Erhitzen sich auszudehnen; Flachstäbe von rechteckigem Querschnitte, unter dem Hammer oder dem Walzwerke ausgestreckt, eignen sich am besten zum Cementiren, da der Kohlenstoff um so leichter und gleichmässiger den Stab durchdringt, je flacher sein Querschnitt ist. Die Stärke dieser Flachstäbe pflegt 10—20 mm, ihre Breite 50—100 mm zu sein.

Ueber die erforderliche chemische Beschaffenheit des zu wählenden Eisens ist schon oben das Erforderliche gesagt worden.

Als Cementirpulver dient gesiebte Holzkohle von Nuss- bis Erbsengrösse und darunter. Laubholzkohle cementirt kräftiger als Nadelholzkohle; des geringeren Preises wegen findet jedoch auch letztere eine häufige Anwendung. Erfahrungsmässig verliert die Holzkohle bei der Benutzung an cementirender Kraft, und es ist deshalb erforderlich, einen ziemlich ansehnlichen Theil der benutzten Kohle jedesmal zurückzulassen und durch frische zu ersetzen. Gewöhnlich mischt man 1 Theil alte Kohle mit 2 Theilen frischer; oder man beseitigt die alte Kohle, nachdem sie höchstens zweimal benutzt worden ist, ganz und ersetzt sie vollständig durch frische.[2])

1) Abbildung eines amerikanischen Cementirungsofens mit Gasfeuerung, bei welchem Gas und Luft in Kanälen des Ofengemäuers erhitzt werden: Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Band XXIV, Seite 482 (Wedding).

2) Ueber die Ursachen dieser Abnahme der Cementirungsfähigkeit der Holzkohle sind verschiedene Theorien aufgestellt worden. Es unterliegt indess kaum einem Zweifel, dass die Ursache in der durch das Glühen herbeigeführten Ver-

Zusätze zur Holzkohle, welche man bisweilen als förderlich für die Cementirung betrachtete, haben sich wenig bewährt und sind deshalb allgemein wieder ausser Anwendung gekommen. Hierher gehören Alkalien oder deren Lösung in Wasser, mit welcher die Holzkohle getränkt wird, kohlensaures Baryum, Knochenkohle, Blutlaugensalz u. a. m.: überhaupt Körper, welche die Entstehung von Cyaniden befördern. Man schrieb früher der Bildung dieser Cyanide eine besonders förderliche Wirkung auf die Cementirung des Eisens zu, nachdem man deren Eigenschaft, in hoher Temperatur kohlend auf das Eisen einzuwirken, erkannt hatte (Seite 269).

Auf den Boden der Kiste bringt man gewöhnlich eine Lage feinen Sandes, Chamottemehles oder dergleichen, welche den Zweck hat, die bei der Ausdehnung der Kiste etwa entstehenden Fugen zu schliessen und den Eintritt der Luft zu hindern. Nun kommt die erste Lage Holzkohlenpulver, etwa 60—80 mm hoch, auf diese eine Lage Eisenstäbe. Letztere müssen sorgfältig in die Kohle eingeklopft werden, so dass sie überall dicht eingeschlossen sind, und dürfen sich gegenseitig nicht berühren. Auf die Eisenstäbe kommt wieder eine Schicht Holzkohlen, dann kommen wieder Eisenstäbe u. s. f.

Um eine Prüfung der Eisenstäbe während des Glühens zu ermöglichen, pflegt man in der einen Giebelwand der Kisten etwas unterhalb des oberen Randes eine auch in der Aussenwand des Ofens sich fortsetzende Oeffnung anzubringen, aus welcher die Enden einiger als Proben dienender Stäbe herausragen, so dass man diese herausnehmen kann, wenn man sich überzeugen will, wie weit die Kohlung vorgeschritten ist.

Die Kisten werden mit Eisenstäben und Holzkohlen bis auf eine Höhe von etwa 100 mm unterhalb des oberen Randes gefüllt. Auf die oberste Holzkohlenschicht kommt schliesslich eine möglichst luftdicht schliessende Decke, zu unterst aus altem Cementirpulver, darüber aus Ziegelmehl oder dergleichen bestehend.

Ist das Laden der Kiste beendet, vermauert man die Mannlöcher, schliesst die Eintragsöffnungen durch eingesetzte Steine, verstreicht die Oeffnungen für die Probestäbe mit Thonmörtel und schreitet zum Anfeuern des Ofens. Allmählich steigert man die Temperatur bis zur hellen Rothgluth (Gelbgluth), welche nach Verlauf von etwa 1½ Tagen, vom Beginne des Anfeuerns an gerechnet, erreicht zu sein pflegt. In dieser Temperatur erhält man den Ofen 7—9 Tage, je nachdem weicherer oder härterer Stahl erzeugt werden soll und je nachdem die Stäbe schwächeren oder stärkeren Querschnitt besassen.

Durch Herausnahme und Prüfung einer Stange nach Ablauf einer bestimmten Zeit verschafft man sich ein Urtheil über das Maass der inzwischen stattgehabten Kohlung. Man lässt die Stange abkühlen und zerbricht sie, um den Bruch zu besichtigen, schmiedet sie aus und härtet sie, biegt ein nicht gehärtetes Stück nach dem Ausschmieden kalt um u. s. f. Zu beachten ist, dass der in der Kiste befindliche

dichtung der Holzkohle zu suchen sei. Geübte Arbeiter können, wie Mannesmann versichert, schon durch das Gefühl der Finger frische Holzkohle von benutzter unterscheiden. Vergl. hierüber die unter Anmerkung 1 Seite 995 erwähnte Abhandlung von R. Mannesmann.

Stahl auch während des Abkühlens des Ofens seinen Kohlenstoffgehalt noch etwas anreichert, die Probe also entsprechend weniger hart sein muss, als der fertige Stahl werden soll.

Das Abkühlen des Ofens findet allmählich statt, indem man das Feuern einstellt und die Luftzuführungsöffnungen (bei Rostfeuerung den Aschenfall) schliesst. Erst wenn die Temperatur unter Rothgluth gesunken ist, beschleunigt man durch allmähliches Oeffnen der verschiedenen Verschlüsse (Aschenfall, Eintragsöffnungen u. a. m.) die Abkühlung, so dass nach Verlauf von etwa 5—7 Tagen von der Beendigung des Feuerns an das Austragen der Kisten beginnen kann.

Im Ganzen pflegt die Zeitdauer für das Anfeuern, Vollfeuer und Abkühlung 15—20 Tage zu sein; hierzu kommt die Zeit für das Laden und Austragen der Kisten, abhängig von deren Grösse, da nicht gut mehr als zwei Arbeiter dabei beschäftigt werden können, und gewöhnlich 6—8 Tage beanspruchend, so dass die gesammte Zeitdauer eines Brandes einschliesslich der Vor- und Nacharbeiten 21—28 Tage beträgt.

Die ausgetragenen Stahlstangen werden kalt zerbrochen und ihrem Bruchaussehen gemäss gesondert.

Da der Zweck der Cementirung eine Kohlenstoffanreicherung ist, muss das Gewicht des eingesetzten Eisens entsprechend grösser werden. Diese Gewichtszunahme beträgt thatsächlich 0,5—0,75 Hunderttheile des Einsatzgewichtes, je nachdem man kohlenstoffärmeren oder kohlenstoffreicheren Stahl darstellte.

Der Verbrauch an frischen Holzkohlen pflegt für 1 t fertigen Stahles etwa 30 kg zu betragen, der Brennstoffaufwand bei Anwendung von Steinkohlen 800 bis 1000 kg; Arbeitslöhne 5 bis 6 Mark. Die Kosten der Cementirung (ausschliesslich des Preises für das zu cementirende Eisen) sind demnach ungefähr folgende (für 1 t Stahl):

Löhne	5	bis 6	*M.*
Holzkohle	3	„ 4	„
Heizkohle	9	„ 10	„
Erneuerungsarbeiten	0,5	„ 1	„
Insgemeinkosten, Zinsen und Amortisation	2,5	„ 4	„
	20	bis 25	*M.*

Ein dem Cementiren ähnliches Verfahren, die Oberflächenhärtung genannt, wird mitunter bei der Verarbeitung des Eisens in Maschinenfabriken und anderen Werkstätten angewendet, um den aus gewöhnlichem weichen Eisen gefertigten, in ihrer Form fertigen Gegenständen eine der mechanischen Abnutzung besser widerstehende und zugleich politurfähigere Oberfläche zu verleihen. Es kommt hierbei in Betracht, dass, wenn man jene Gegenstände von vornherein ganz aus Stahl fertigen wollte, die Ausgabe für das Material höher, die Verarbeitung schwieriger, die Zähigkeit der Gegenstände, insbesondere die Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen, geringer sein würde als bei der Verwendung von Schmiedeeisen, welches später nur an seiner Oberfläche in Stahl verwandelt wird. Man verpackt die betreffenden Gegenstände mit Holzkohlenpulver, nicht selten auch mit stickstoffhaltigen Körpern (Knochenkohle, Lederabfällen, Blutlaugen-

salz) in Blechkasten und setzt sie einige Stunden hindurch der Hitze eines auf einem Roste unterhaltenen Koksfeuers aus. Nach dem Herausnehmen werden die Gegenstände sofort durch Eintauchen in Wasser gehärtet.

Auch ein von Harvey eingeführtes Verfahren zu dem Zwecke, Panzerplatten (für Kriegsschiffe) eine härtere Oberfläche zu verleihen, ohne ihre Sprödigkeit zu erhöhen, gehört hierher. Die aus Flusseisen mit 0,10 bis 0,35 Hunderttheilen Kohlenstoff gewalzte Platte wird flach auf ein Bett von trockenem Sand oder feingepulvertem Thon gelegt, welches in einem entsprechend gebauten Glühofen vorgerichtet ist. Auf die obere Fläche der Platte kommt nun Holzkohlenpulver, dann eine Lage von feuerfesten Steinen. Hierauf wird der Ofen geheizt und die Platte längere oder kürzere Zeit nach Maassgabe ihrer Stärke in einer die Schmelztemperatur des Roheisens erreichenden Temperatur geglüht. Platten von 170 mm Stärke werden etwa 120 Stunden in dieser Temperatur erhalten; dann nimmt man sie aus dem Ofen und härtet sie, sobald sie auf Kirschrothgluth abgekühlt sind, durch Bespritzen mit Wasser. An der Aussenfläche der geglühten Platte ist Stahl mit einem Kohlenstoffgehalte von nahe an 1,0 Hunderttheil entstanden; nach der Rückseite der Platte hin nimmt der Kohlenstoffgehalt rasch ab, und bei etwa 75 mm Tiefe beträgt die stattgehabte Anreicherung des Kohlenstoffgehaltes nur etwa 0,1 Hunderttheil.[1])

4. Der chemische Verlauf des Cementirens.

Gewöhnlich hatten die in früheren Jahrzehnten angestellten chemischen Untersuchungen des Cementirungsverfahrens nur die Beantwortung der Frage im Auge, ob wirklich feste Kohle im Stande sei, sich mit dem ebenfalls ungeschmolzenen Eisen zu legiren und bis in die inneren Theile des Eisenkörpers vorzudringen, oder ob nicht vielmehr Gase, aus den Kohlen entwickelt, die Cementirung bewirkten, indem sie, in die Poren des Eisens eindringend, hier Kohlenstoff abgäben.

Die Frage ist zweifellos zu Gunsten des festen Kohlenstoffs entschieden. Man würde vermuthlich auch früher weniger Bedenken getragen haben, eine Cementirung durch festen Kohlenstoff für möglich zu halten, wenn man zugleich den entgegengesetzten Vorgang in's Auge gefasst hätte, das Glühfrischen, bei welchem dem ebenfalls ungeschmolzenen Eisen Kohlenstoff entzogen wird. Beide Verfahren beruhen auf einer Wanderung des Kohlenstoffs von Molekül zu Molekül, indem das kohlenstoffreichere Molekül seinen Ueberschuss an das kohlenstoffärmere abgiebt; bei dem Glühfrischen wandert auf diese Weise der Kohlenstoff von innen nach aussen, bei der Cementirung von aussen nach innen.

Die zuverlässigsten und umfassendsten Untersuchungen sowohl über die soeben erwähnte Frage als auch über die Einflüsse der Temperatur, Zeitdauer des Glühens und anderer Nebenumstände auf den Verlauf der Cementirung wurden von Mannesmann angestellt.[2]) Die

1) Vergleiche Literatur.
2) Vergleiche Literatur.

wichtigsten Ergebnisse dieser Versuche sind in Folgendem zusammengestellt.

Zur Beantwortung der Frage über das Verhalten des festen Kohlenstoffs beim Cementiren glühte Mannesmann Eisenstangen, welche zur Hälfte in gesiebten Ceylongraphit, bei anderen Versuchen in Zuckerkohle oder Russ, zur anderen Hälfte in gesiebte Schamottestücke verpackt und dann luftdicht in verglaste Tiegel eingeschlossen waren. In allen Fällen zeigte sich die im festen Kohlenstoff befindliche Hälfte stark cementirt, die andere nicht beeinflusst. Aeussere Gase hatten bei diesem Versuche keinen Zutritt; die aus dem Kohlenstoff etwa entwickelten Gase aber hätten beide Hälften der Stangen beeinflussen können. Noch deutlicher wurde der Beweis der Kohlenstoffwanderung durch einen Versuch geliefert, bei welchem ein Schmiedeeisenstück vollständig mit Spiegeleisen umgossen (durch Einlegen in das im Erstarren befindliche Spiegeleisen) und dann geglüht wurde. Schon nach 21 Minuten langem Glühen hatte sich am Umfange des eingeschlossenen Eisenstückes eine 1 mm starke Stahlschicht gebildet.[1])

Fernerhin lässt sich aus Mannesmanns Versuchen folgern, dass die Kohlenstoffmenge, welche das Eisen bei der Cementirung überhaupt aufzunehmen vermag, d. i. der Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff, mit der angewendeten Temperatur steigt, und dass die Cementirung um so rascher vor sich geht, je höher die dabei angewendete Temperatur ist. Ein Schmiedeeisenstück, in Holzkohle eingepackt und bis zur Weissgluth erhitzt, zeigte schon nach 45 Minuten eine Kruste weissen Roheisens von 3—5 mm Stärke mit 4,76 Hunderttheilen Kohlenstoff, also dem höchsten Kohlenstoffgehalt, den das Eisen muthmaasslich aufnehmen konnte. Ein Eisenstab, in der Cementirkiste der üblichen Temperatur (Hellrothgluth) ausgesetzt, zeigte dagegen vom 13. Tage an unverändert 1,2 Hunderttheile Kohlenstoff, auch nachdem das Cementiren noch 3 Tage hindurch fortgesetzt worden war. Je höher aber der Kohlenstoffgehalt des Eisens steigt, desto mehr sinkt dessen Schmelztemperatur, und die Schwierigkeit, hochgekohltes Eisen ohne Schmelzung zu erzeugen, wächst daher mit dem Kohlenstoffgehalte.

Diese Abhängigkeit des erreichbaren Kohlenstoffgehalts von der Temperatur liefert auch die Erklärung für den scheinbaren Widerspruch, dass Roheisen beim Glühen in Holzkohle unter dem Einflusse des sich entwickelnden Wasserstoffs Kohlenstoff verlieren kann (Seite 989), während kohlenstoffarmes Eisen Kohlenstoff aufnimmt. Bei einem derartigen von mir angestellten Versuche wurden ein Stück Roheisen mit 2,52 Hunderttheilen Kohlenstoff und ein Stück schmiedbares Eisen mit 0,16 Hunderttheilen Kohlenstoff gemeinschaftlich in dasselbe Glühgefäss mit Holzkohle verpackt; der Kohlenstoffgehalt des Roheisens war nach dem Glühen auf 2,37 Hunderttheile gefallen, der Kohlenstoffgehalt des schmiedbaren Eisens auf 0,69 Hunderttheile gestiegen. Die Temperatur beim Glühen war Gelbgluth; sie lag tiefer als dem höchsten Sättigungsgrade des Eisens für Kohlenstoff entspricht. So konnte das Roheisen an den Wasserstoff Kohlenstoff abgeben, während das kohlenstoffarme

1) Dass manche kohlenstoffhaltige Gase cementirend wirken können, unterliegt keinem Zweifel (vergl. Seite 269); aber bei dem Cementirungsverfahren, wie es bis jetzt ausgeführt wird, besitzen die Gase keine Wichtigkeit.

Eisen Kohlenstoff aufnahm. Mehrere gleiche Versuche mit ähnlichem Ergebnisse bestätigten, dass kein Irrthum vorgelegen hatte.[1])

Aus Mannesmanns Versuchen ergiebt sich ferner, dass die Cementirung eines Eisenstückes um so ungleichmässiger ausfällt, d. h. dass bei einem gleichen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalte eines cementirten Eisenstückes der Kohlenstoffgehalt des Kernes um so stärker von dem der Kruste abweicht, je höher die angewendete Temperatur und je kürzer demnach die Zeitdauer des Glühens war. Eben jene Eisenstücke, welche binnen 45 Minuten durch Anwendung von Weissgluth äusserlich in Roheisen umgewandelt worden waren, zeigten unter der Roheisenschicht eine etwa 2½ mm starke Stahlschicht und darunter noch unverändertes Schmiedeeisen; mitunter auch liess sich äusserlich Roheisen und unmittelbar darunter Schmiedeeisen in scharf gesonderten Schichten von einander unterscheiden. Probestangen dagegen, in der Kiste des Cementirofens bei regelmässigem Betriebe geglüht, zeigten

nach 7 Tagen eine ½ mm starke Stahlschicht mit 0,65 Hunderttheilen Kohlenstoff;
„ 8 „ „ 1 „ „ „ „ 0,94 „ „
„ 9 „ „ 2 „ „ „ „ 0,95 „ „
„ 10 „ „ 2,6 „ „ „ „ 1,1 „ „
„ 11½ „ „ 3 „ „ „ „ 1,2 „ „
„ 13½ „ einen annähernd gleichmässig durch das ganze Stück vertheilten Kohlenstoffgehalt von 1,2 Hunderttheilen.

Dieser zuletzt erreichte Kohlenstoffgehalt nahm auch bei länger fortgesetztem Glühen nicht mehr zu, wie schon früher erwähnt wurde. Eine annähernd gleichmässige Cementirung eines Eisenstückes ist daher in jedem Falle nur dann erreichbar, wenn die Zeitdauer des Glühens der Stärke des Eisenstückes entspricht, und die Höhe des hierbei eintretenden Kohlenstoffgehaltes ist, wie erwähnt, von der angewendeten Temperatur abhängig.

In einzelnen Fällen zeigten bei Mannesmanns Versuchen die cementirten Stäbe Bruchflächen, welche durch ausgeschiedenen Kohlenstoff grau gefärbt waren. Vermuthlich war hier Temperkohle entstanden, obgleich in den gewöhnlichen Fällen Temperkohle nur in sehr geringen Mengen gebildet zu werden pflegt. Zwei Stücke von mir untersuchten Cementstahles enthielten in dem Zustande, wie sie die Kiste verlassen hatten:

	Härtungskohle	Karbidkohle	Temperkohle	Gesammtkohlenstoffgehalt
Schwedischer Cementstahl . . .	0,42	1,07	0,00	1,49
Remscheider „ . . .	0,19	0,97	0,04	1,20

Der schwedische Stahl ist vermuthlich im noch heissen Zustande abgelöscht und dadurch reich an Härtungskohle geworden.

Das Verhalten des Schwefels, Phosphors und Siliciums beim Cementiren wurde durch Boussingault geprüft.[2]) Er fand, dass der Schwefelgehalt des Eisens regelmässig eine Verringerung erfahre. Diese Beobachtung entspricht dem auf Seite 292 geschilderten Verhalten des Schwefels in kohlenstoffhaltigem Eisen. Allerdings wird man in Rücksicht auf die hohen Ansprüche, welche an die Beschaffenheit des Cementstahles gestellt werden müssen, kaum jemals ein schwefel-

1) Die Versuche sind mitgetheilt in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 777.
2) Vergleiche Literatur.

reiches Eisen zu dessen Darstellung benutzen; so erklärt es sich, dass auch die beobachtete Abnahme nicht sehr bedeutend sein konnte. Schwedisches Eisen mit 0,055 Hunderttheilen Schwefel enthielt nach dem Cementiren nur noch 0,019 Hunderttheile; eine andere Sorte schwedischen Eisens mit 0,04 Hunderttheilen Schwefel enthielt nach dem Cementiren 0,02 Hunderttheile. Mehrere andere Versuche bestätigten dieselbe Wahrnehmung Als man weisses Roheisen mit 0,101 Hunderttheilen Schwefel 35 Tage lang in Holzkohlen glühte, hatte sich der Schwefelgehalt auf 0,036 Hunderttheile verringert.

Der Silicium- und Phosphorgehalt dagegen liess bei den angestellten Untersuchungen mitunter eine, wenn auch nicht bedeutende Zunahme erkennen.[1]) Sollten nicht eine ungleiche Vertheilung jener Stoffe im Eisen oder kleine Unrichtigkeiten der Analyse die gefundenen Abweichungen bedingen, so würde die Erklärung der Anreicherung leicht in der stattfindenden Reduction dieser Körper aus der Asche der immerhin theilweise verbrennenden Holzkohle zu suchen sein. Eine Bedeutung für die Beschaffenheit des Cementstahles besitzt der Vorgang nicht.

Als ein nicht ganz unwichtiger Vorgang beim Cementiren bleibt noch die Reduction der Eisenoxyde zu erwähnen, welche den Hauptbestandtheil der in allem Schweisseisen eingemengten Schlacke bilden. Dass eine solche Reduction stattfinde, lässt sich, obschon unmittelbare Versuche darüber bislang nicht angestellt wurden, aus dem Verhalten der Eisenoxyde gegen Kohlenstoff bei fortgesetztem Glühen in einer Temperatur über 900 Grad C. ohne Weiteres schliessen[2]); mittelbar wird der Beweis durch die Entstehung von Blasen an der Oberfläche des cementirten Eisens (Stahles) geliefert, welche dem rohen Cementstahle eigenthümlich sind und ihm in England den Namen *blister-steel* (Blasenstahl) verschafft haben. Sie treten in Durchmessern von 2 bis 20 Millimetern auf; sticht man eine solche Blase des frisch aus der Kiste genommenen noch glühenden Stahles auf, so lässt sich mitunter das Entweichen eines brennbaren Gases beobachten. Die Blasen sind durch das Kohlenoxydgas hervorgerufen, welches bei dem erwähnten Reductionsvorgange entstand und das weiche Eisen, in dem es eingeschlossen war, aufblähte. Flusseisen zeigt daher, wie Percy durch einen Versuch nachwies, diese Blasenbildung nicht.

5. Das Erzeugniss.

Infolge des anhaltenden Glühens besitzt der rohe Cementstahl eine Bruchfläche von grobblättrigem Gefüge und eigenthümlich gelblicher Farbe. Ohne Weiteres geprüft erweist er sich als brüchig. Durch

1) Bei einem derartigen Versuche betrug z. B. der Gehalt an:

	Silicium	Phosphor
vor dem Cementiren	0,105	0,100
nach dem Cementiren	0,120	0,130.

2) 900 ° C. ist die Reductionstemperatur für metallisches Eisen aus Eisenoxydul (Seite 264).

mechanische Bearbeitung in Schmiedetemperatur lässt er sich in feinkörnigen Stahl mit den seinem Kohlenstoffgehalte entsprechenden Festigkeitseigenschaften umwandeln.

Dennoch pflegt man ihn nicht ohne Weiteres in dieser Weise zu verwenden. Sein Kohlenstoffgehalt ist nicht immer ganz gleichmässig vertheilt; auch wenn das Glühen lange genug fortgesetzt war, um das Eindringen des Kohlenstoffs bis zum Kerne der Eisenstücke zu ermöglichen, bedingen doch Zufälligkeiten — Temperaturunterschiede an verschiedenen Stellen der Kiste, ungleiche Berührung mit den Holzkohlen u. a. m. — leicht Abweichungen in dem Kohlenstoffgehalte an verschiedenen Stellen eines und desselben Stahlstückes.

Man beseitigt oder verringert diesen Uebelstand, indem man entweder den Cementstahl zu geschweisstem Stahle (Gärbstahl) verarbeitet, d. h. ihn auf dünne Querschnitte ausstreckt, die ausgestreckten Stäbe auf einander schweisst und abermals streckt; oder indem man ihn, wie schon erwähnt wurde, als Material für Darstellung von Tiegelstahl benutzt.

Da der Cementstahl aus den besprochenen Gründen nur aus den reinsten Eisensorten dargestellt zu werden pflegt, zeigen auch seine Analysen nichts Bemerkenswerthes. Phosphor, Schwefel, Silicium, Mangan, Kupfer pflegen nur in sehr kleinen Mengen anwesend zu sein; der Kohlenstoffgehalt richtet sich nach der Bestimmung des fertigen Stahles und pflegt 0,8—1,3 Hunderttheile zu betragen.

Literatur.

H. Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens. Braunschweig 1875, S. 572—589.

Reinhard Mannesmann, Studien über den Cementstahlprocess. Zeitschr. d. Ver. zur Beförderung des Gewerbfleisses 1879, S. 31.

Boussingault, Études sur la transformation du fer en acier par la cementation. Annales de chimie et de physique, série 5, tome V, p. 145.

J. Percy, On the cause of the blisters on blister-steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, p. 460.

F. L. Garrison, Methods of hardening the surface of armour-plates. Iron, vol. XL, p. 120.

Das Harveysche Kohlungsverfahren. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 760 (aus Engineering).

VII. Die Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens.

I. Einleitung.

Nur in den selteneren Fällen besitzt das schmiedbare Eisen, wenn es aus dem erzeugenden Verfahren hervorgeht, solche Eigenschaften und eine solche Form, dass es befähigt wäre, ohne Weiteres als Material für die unmittelbare Herstellung von Gebrauchsgegenständen zu dienen.

Die mehrfach erwähnten Formgussstücke aus Flusseisen, der schmiedbare Guss und die Temperstahlgussstücke finden allerdings, ohne noch eine wesentliche Veränderung ihrer Form und Eigenschaften zu erleiden, Verwendung; fast alle übrigen Sorten schmiedbaren Eisens werden in den Eisenhütten selbst einer Umformung durch Schmieden, Walzen oder Pressen unterzogen, bevor sie in den Handel gebracht werden.

Der erhaltenen Form gemäss pflegt das schmiedbare Handelseisen als Stangeneisen, Blech oder Draht bezeichnet zu werden; hierzu kommen die unter dem Hammer oder der Presse erzeugten Schmiedestücke mannigfacher Art. Das Stangeneisen wird seinem Querschnitte entsprechend wieder in Quadrateisen, Flacheisen, Rundeisen und die zahlreichen Arten Formeisen eingetheilt, welche Benennung alle Eisenstäbe mit weniger einfachen Querschnittsformen umfasst. Es gehören hierher Winkeleisen, T- und Doppel-T-Eisen, U-Eisen, Eisenbahnschienen und zahlreiche andere Eisensorten, deren Querschnitte, den Fortschritten des Bauwesens und der Gewerbthätigkeit entsprechend, einem öfteren Wandel unterworfen sind.

Insofern jene Formgebung des schmiedbaren Eisens ein mechanisches Verfahren ist, gehört ihre Beschreibung eher in das Gebiet der mechanischen Technologie als in das der Eisenhüttenkunde; der Eisenhüttenmann aber erreicht durch jene Arbeit noch einen andern Zweck: er ruft eine Veredlung der Eigenschaften des von ihm erzeugten schmiedbaren Eisens hervor, und in Rücksicht hierauf bildet jene Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens doch ein nicht unwichtiges Glied in der Reihe derjenigen Verfahren, welche die Erzeugung eines zur Benutzung in den verschiedenen Gewerben brauchbaren schmiedbaren Eisens zum Zwecke haben und demnach in den Eisenhütten im eigentlichen Sinne ausgeführt werden.

Die Einflüsse, welche durch die mechanische Bearbeitung auf die Festigkeit, Härte u. s. w. des schmiedbaren Eisens ausgeübt werden, sowie die Abweichungen hierbei, je nachdem die Bearbeitung in höherer oder niederer Temperatur stattfand, wurden schon früher ausführlich erörtert.

Wichtiger noch als die unmittelbare Beeinflussung der Eigenschaften ist in den meisten Fällen die bei der Verarbeitung des Schweisseisens erreichbare Reinigung von eingemengter Schlacke, bei der Verarbeitung des Flusseisens die stattfindende Verdichtung durch Zusammendrücken der im Innern befindlichen Hohlräume. Das anzuwendende Verfahren aber muss verschieden sein, je nachdem Schweisseisen, welches von Schlacke gereinigt werden soll, oder schlackenfreies Flusseisen, welches nur einer Verdichtung bedarf, der Verarbeitung unterzogen wird.

2. Die Verarbeitung des Schweisseisens.

a) Allgemeines.

Eine Reinigung des Schweisseisens von Schlacke ist möglich, wenn es in einer Temperatur, bei welcher die Schlacke flüssig wird, ohne dass das Eisen selbst schmilzt (Schweisshitze), einer mechanischen Be-

arbeitung (Hämmern, Walzen, Pressen) unterworfen wird, unter deren Einwirkung die Schlacke ausfliesst. Je niedriger die Schmelztemperatur der Schlacke liegt und je dünnflüssiger die Schlacke wird, desto leichter ist ihre Entfernung durch das angegebene Verfahren zu bewirken. Stark basische Schlacken, insbesondere solche, welche Eisenoxyd (Fe_2O_3) oder Kalkerde in grösseren Mengen enthalten, bleiben auch in hoher Temperatur dickflüssig und lassen sich deshalb auch nur ungenügend entfernen. Sie heissen trockene Schlacken (Seite 649). Ein Manganoxydgehalt dagegen macht die Schlacke dünnflüssig und ist deshalb förderlich zur Erlangung schlackenarmen Eisens.

Kleine Mengen Schlacke bleiben jedoch stets auch bei sorgfältigster Arbeit in dem Schweisseisen zurück (Seite 779).

Schon mehrfach wurde auch des Umstandes gedacht, dass der Schlackengehalt des Schweisseisens um so beträchtlicher zu sein pflege, je grösser die mit einem Male dargestellte Menge des letzteren ist. Jene uralten, bei Naturvölkern noch heute betriebenen Verfahren der Schweisseisendarstellung, bei denen eine oft nur wenige Kilogramm schwere Luppe erfolgt, sind deshalb unleugbar zur Gewinnung eines schlackenarmen Eisens am geeignetsten, und mit den einfachen mechanischen Hülfsmitteln, welche für die Verarbeitung dieser kleinen Luppen benutzt zu werden pflegen und im Alterthume ausschliesslich benutzt wurden, lässt sich eben nur ein so schlackenarmes Material in ein brauchbares Fertigerzeugniss umwandeln.

Je schlackenreicher das dargestellte Schweisseisen ist, eine desto ausgedehntere mechanische Verarbeitung ist nothwendig, um die erforderliche Reinigung von Schlacke zu bewirken. Die länger fortgesetzte mechanische Bearbeitung aber verursacht einen grösseren Aufwand an Arbeitslöhnen und Brennstoff, einen erhöhten Eisenverlust durch Abbrand. Zum Theile wird also die Ersparung, welche durch die Herstellung grösserer Eisenmengen in einem Einsatze erzielt werden kann, durch jene Mehrausgaben wieder ausgeglichen, und bei allen Verfahren der Schweisseisendarstellung ist, wie ebenfalls schon hervorgehoben wurde, durch diesen Umstand für die Vergrösserung des Einsatzgewichtes eine Grenze gesteckt, welche nicht ohne Nachtheil überschritten werden kann.

Aus derselben Ursache sah man sich gezwungen, die Kraftleistung der für die Bearbeitung des Schweisseisens bestimmten Vorrichtungen immer mehr zu erhöhen, je mehr die Steigerung des Eisenbedarfes dazu drängte, die Leistungsfähigkeit des einzelnen Ofens durch Vergrösserung der Einsätze wenigstens bis an die äusserste zulässige Grenze auszudehnen. Aus dem Handhammer des Alterthums entwickelte sich der während mehrerer Jahrhunderte fast ausschliesslich benutzte Wasserhammer; dieser wurde dann durch das leistungsfähigere Walzwerk und den kräftiger wirkenden Dampfhammer bei Seite geschoben.

Auch das Arbeitsverfahren muss ein anderes sein, je nachdem kleinere, schlackenärmere, oder grössere, schlackenreichere Luppen verarbeitet und dabei von Schlacke gereinigt werden sollen.

Wird ein aus kleinem Einsatze erzeugtes und deshalb nicht sehr schlackenreiches Schweisseisen verarbeitet und dabei auf einen ver-

hältnissmässig dünnen Querschnitt ausgestreckt, so genügt häufig dieses einmalige Ausstrecken schon, eine ausreichende Reinigung von Schlacke herbeizuführen, um das gestreckte Eisen als brauchbares Erzeugniss gelten zu lassen. Dieser Fall kommt z. B. beim Frischfeuerbetriebe vor. Die Luppen werden, nachdem sie unter dem Hammer gezängt wurden, in mehrere Stücke zerschroten, diese werden schweisswarm gemacht und nun — gewöhnlich ebenfalls unter dem Hammer — zu dünnen Flachstäben ausgestreckt.

Aus schlackenreicheren Luppen jedoch, wie sie der Puddelofen liefert, lässt sich durch diese einfache Arbeit noch kein brauchbares Erzeugniss herstellen. Wie früher beschrieben wurde, pflegt man die Puddelluppen, unmittelbar nachdem sie gezängt wurden, im Luppenwalzwerke zu Rohschienen auszuwalzen, d. h. zu Stäben, deren rohes Aeussere schon auf ihre unfertige Beschaffenheit hinweist, und welche noch reichlich mit Schlacke durchsetzt sind. Man setzt also die Reinigung fort, indem man die Rohschienen zerschneidet, eine grössere Zahl dieser kurzen Stücke zu einem vierseitig prismatischen Bündel, einem Packete, in geeigneter Weise zusammenlegt, das Packet auf Schweisshitze erwärmt, unter dem Hammer oder in Kalibern zusammenschweisst und nun abermals ausstreckt. In nicht seltenen Fällen wird das ausgestreckte Eisen auf's neue schweisswarm gemacht, um zu Eisensorten von noch dünneren Querschnitten, Feineisen genannt, ausgestreckt zu werden. Entstehende Abfälle werden durch Einlegen in die Packete mit aufgearbeitet.

Das Packetiren bildet demnach ein Mittel zu einer weitgehenden Reinigung schlackenreichen Schweisseisens; aber auch noch andere Vortheile werden durch diese Arbeit erreicht. Die Rohschienen des Puddelverfahrens sind nicht immer von gleichartiger Beschaffenheit. Nicht allein finden sich Abweichungen bei verschiedenen Einsätzen; auch bei einem und demselben Einsatze lassen die Rohschienen verschiedener Luppen oft deutliche Unterschiede, durch das abweichende, theils grobkörnige, theils feinkörnige, theils sehnige Gefüge der Bruchfläche sich verrathend, erkennen. Indem man sie also ihrer Bruchfläche gemäss sondert, erhält man ein Mittel, sie für die Packetirung der Beschaffenheit des in jedem einzelnen Falle darzustellenden Eisens entsprechend auszuwählen und zu verwenden, körnige und ungleichartige Stücke auszuschliessen, wenn ein gleichmässig sehniges Eisen verlangt wird, umgekehrt für Feinkorneisen alle grobkörnigen oder sehnigen Stücke bei Seite zu legen u. s. f.

Auch der Umstand kann von Nutzen sein, dass man durch das Packetiren die Möglichkeit erhält, in verhältnissmässig einfacher Weise die ziemlich bedeutenden Mengen von Abfällen schon geschweissten Eisens wieder aufzuarbeiten, welche auf einem Eisenwerke bei der Arbeit selbst regelmässig entstehen: Ausschussstücke, abgeschnittene Enden der Fertigerzeugnisse u. s. w. Auch Alteisen, d. h. zum Ankaufe gebrachtes oder aus dem eigenen Inventar des Eisenwerkes stammendes schmiedbares Eisen lässt sich zum grossen Theile durch die Packetirung wieder nutzbar machen. Alles dieses Eisen ist bereits geschweisst und deshalb schlackenärmer als Rohschienen; nicht selten wird es mit den Rohschienen zusammen in geeigneter Weise in einem

und demselben Packete vereinigt, wenn man durch nur einmalige Schweissung ein Fertigerzeugniss mit niedrigerem Schlackengehalte erzeugen will, als es aus den Rohschienen allein erfolgen würde.[1])

Diesen Vortheilen der Packetirung steht freilich der Nachtheil gegenüber, dass jedes aus einem Packete gewalzte Eisenstück als ein Bündel zusammengeschweisster und mit einander ausgestreckter Stäbchen oder Plättchen zu betrachten ist, deren gegenseitiger Zusammenhang niemals so vollkommen sein kann, als der des ungeschweissten Eiens. Durch Aetzen (Seite 705) eines solchen Eisenstückes lassen sich die Schweissfugen deutlich erkennbar machen; durch wiederholtes Hin- und Herbiegen lösen sich nicht selten die geschweissten Stellen; auch bei anhaltender Beanspruchung auf Drehung oder bei vielfach wiederholten heftigen Erschütterungen kann dieser Uebelstand eintreten. Bei dem kohlenstoffreicheren Eisen, dem Stahle, kommt aber noch hinzu, dass an jeder Schweissstelle auch eine chemische Beeinflussung des Materials stattfindet. Kohlenstoff verbrennt, theils durch unmittelbare Einwirkung oxydirender Gase beim Erhitzen, theils durch die Einwirkung des entstandenen Glühspans sowohl während des Schweissens, als während der späteren Verarbeitung. Das fertige Erzeugniss enthält demgemäss kohlenstoffärmere, weichere Stellen neben härteren, und je weniger Vorsorge zur Vermeidung der Oxydation und Glühspanbildung beim Erhitzen getroffen wurde, desto empfindlicher macht sich dieser Umstand geltend.

Trotz dieser Nachtheile ist aus den schon erörterten Gründen das Verfahren des Packetirens nicht zu umgehen, wenn entweder eine weitgehende Reinigung schlackenreichen Schweisseisens erforderlich ist, oder wenn Eisen, welches aus dem Erzeugnissverfahren in ungleichartiger Beschaffenheit hervorging, nach vorausgegangener Sonderung zu Handelswaare von gleichartiger Beschaffenheit verarbeitet werden soll.

Da bei dem Zängen der Luppen und Auswalzen zu Rohschienen eine erste Schweissung stattfindet, nennt man das aus Packeten gewalzte Eisen doppelt geschweisst.

b) Die Schweissfeuer und ihr Betrieb.

Man benutzt Schweissfeuer theils für den Betrieb im kleineren Maassstabe, z. B. zum Erhitzen der Luppen eines Frischfeuers, theils auch für das Schweissen kohlenstoffreicheren Stahles, welcher vor Oxydation geschützt werden soll.

Die einfachste Form eines Schweissfeuers für Schmiedeeisenluppen ist die eines grösseren Schmiedefeuers, wie es in allen Schmiedewerkstätten benutzt wird. Die in einem gemauerten oder auch gusseisernen Herde angebrachte Feuergrube pflegt 250—300 mm tief, 350—450 mm breit, 500—600 mm lang zu sein. Von der einen Seite oder senkrecht vom Boden aus strömt der Wind in das Feuer. Als

1) Durch Einführung des Martinverfahrens hat allerdings das Packetiren als Mittel zur Aufarbeitung von Alteisen wesentlich an Bedeutung verloren; wo man aber nur Schweisseisen, nicht Flusseisen, erzeugen will, leistet es auch jetzt noch für jenen Zweck gute Dienste.

Brennmaterial dienen gewöhnlich backende Steinkohlen von Nussgrösse, welche vermöge ihrer Backfähigkeit ein im Innern glühendes Gewölbe über dem Eisenstücke bilden. Soll Brennmaterial nachgeschüttet werden, so stösst der Schweisser die Kohlendecke ein und bringt die frischen Kohlen oben darauf, welche alsbald zusammenbacken und eine neue Decke bilden. Mit dem zu erhitzenden Eisen kommen auf diese Weise nur die entschwefelten und bereits entgasten Kohlen in Berührung; ohne diesen Kunstgriff würde die Beschaffenheit des Eisens wesentliche Einbusse erleiden können. Der Windverbrauch eines solchen Feuers beträgt gewöhnlich 2 — 3 cbm in der Minute, die Windspannung 150 — 200 mm Wassersäule. Der Steinkohlenverbrauch für 1 t geschweissten Eisens richtet sich nach der Grösse der eingesetzten Eisenstücke wie nach der Zahl der nach einander erforderlichen Erhitzungen und wird für jede erforderliche Schweisshitze durchschnitt-

Fig. 307.

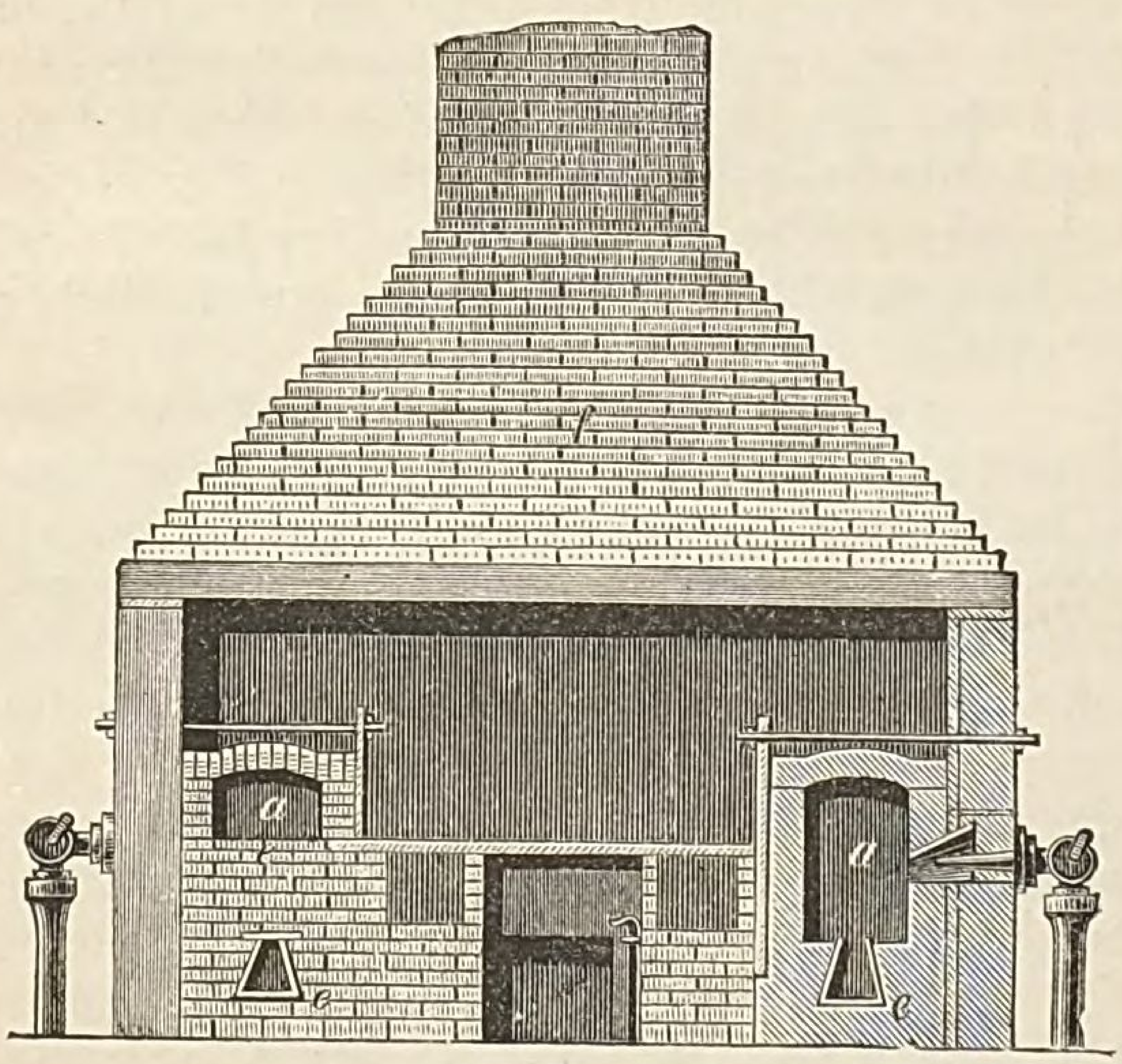
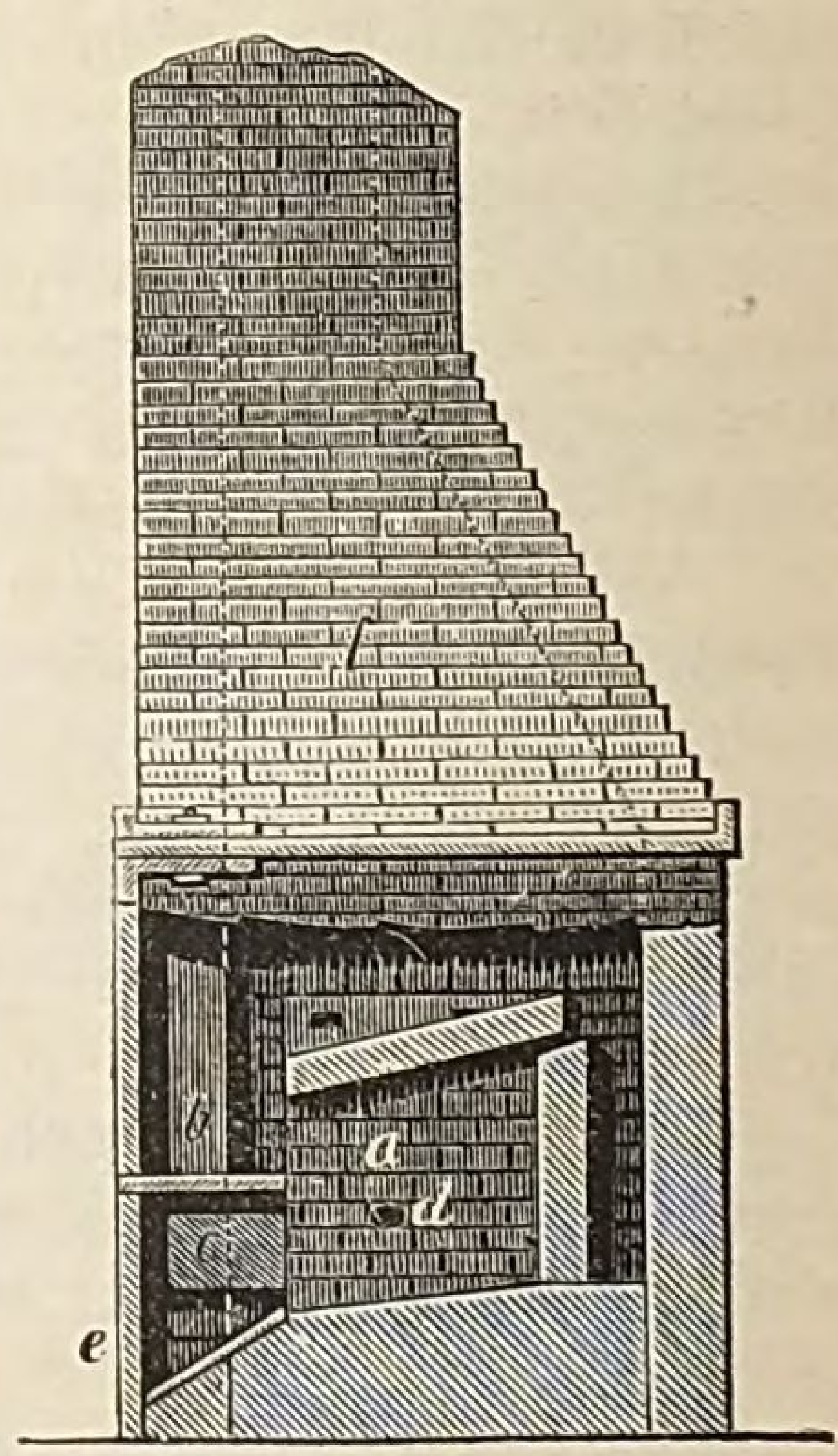


Fig. 308.



lich etwa 500 kg betragen. Dabei findet ein Gewichtsverlust (Abbrand) von 6 — 12 Hunderttheilen bei jeder Erhitzung statt.[1])

Stahl erträgt um so weniger gut eine Erhitzung im Steinkohlen- oder Koksfeuer, je höher sein Kohlenstoffgehalt ist. In der kohlensäurereichen Gasatmosphäre, welche bei Verbrennung dieser Brennstoffe entsteht, findet eine theilweise Verbrennung seines Kohlenstoffgehaltes statt. Zu seiner Erhitzung sind deshalb die leichter verbrennlichen, reichlichere Mengen von Kohlenoxydgas liefernden Holzkohlen geeigneter, und ihr geringer, fast nur aus Carbonaten der

1) Da in dem Abbrande, d. h. dem Unterschiede in dem Gewichte des Eisens vor und nach dem Erhitzen mit der sich daran schliessenden Bearbeitung auch das Gewicht der ausfliessenden Schlacke inbegriffen ist, die Menge dieser Schlacke aber bei jeder folgenden Schweissung geringer wird, erklärt es sich, dass jener Abbrand bei der ersten Schweissung sich regelmässig höher beziffert, als bei den folgenden.

Erden und Alkalien bestehender Aschengehalt macht sie in anderer Hinsicht gerade zum Schweissen des Stahles besonders tauglich. In Rücksicht auf das geringere spezifische Gewicht der Holzkohlen und die Nothwendigkeit, den zu erhitzenden Stahl vollständig mit Holzkohlen zu umgeben, baut man die Holzkohlenfeuer tiefer (500—600 mm tief) als die Steinkohlenfeuer und giebt ihnen häufig eine gemauerte Decke zur leichteren Erzielung einer gleichmässigen Temperatur im Innern. Die Abbildungen Fig. 307 und 308 zeigen die Einrichtung zweier solcher Holzkohlenfeuer aus älterer Zeit.[1]) *a* ist der Feuerungsraum, etwa 370 mm breit, 700 mm lang, 550 mm tief, in welchen von der Seite her der Wind zugeführt wird. Die Bedienung des Feuers erfolgt durch die an der Vorderseite angebrachte Oeffnung *b* (Fig. 308), und darunter an der tiefsten Stelle des Feuers befindet sich das Schlackenloch *e*. Die Gase beider Feuer entweichen durch den gemeinschaftlichen Rauchfang *f*.

Nicht selten sind die Stahlschweissfeuer auch den Frischfeuern, in welchen der Stahl erzeugt wird, ganz ähnlich eingerichtet. In Steiermark benutzt man solche Feuer, etwa 500 mm breit, 550 mm lang, mit eisernen Platten (Zacken), wie die Frischfeuer, ausgesetzt.

Die Brennstoffausnutzung in einem Holzkohlenfeuer ist, weil der Brennstoff fast nur zu Kohlenoxydgas verbrannt wird, durchschnittlich ungünstiger als im Steinkohlen- oder Koksfeuer. 1 t Stahl pflegt zu einmaliger Schweissung 1000—1500 kg Holzkohlen zu beanspruchen[2]); der Abbrand dabei beträgt 3—6 Hunderttheile, bei der ersten Schweissung am meisten, später weniger.

c) Die Schweissöfen und ihr Betrieb.

Als Schweissöfen dienen Flammöfen, auf deren Herde das zu schweissende Eisen erhitzt wird. Sie sind unentbehrlich für den Grossbetrieb, nicht allein, weil sie die gleichzeitige Erhitzung einer grösseren Anzahl eingesetzter Eisenstücke oder Packete ermöglichen, sondern auch, weil eine gleichmässige Erhitzung grösserer Stücke in ihnen leichter als in einem Feuer erreichbar ist, in welchem die Wärmeentwickelung immerhin nur auf einen ziemlich kleinen Raum beschränkt bleibt.

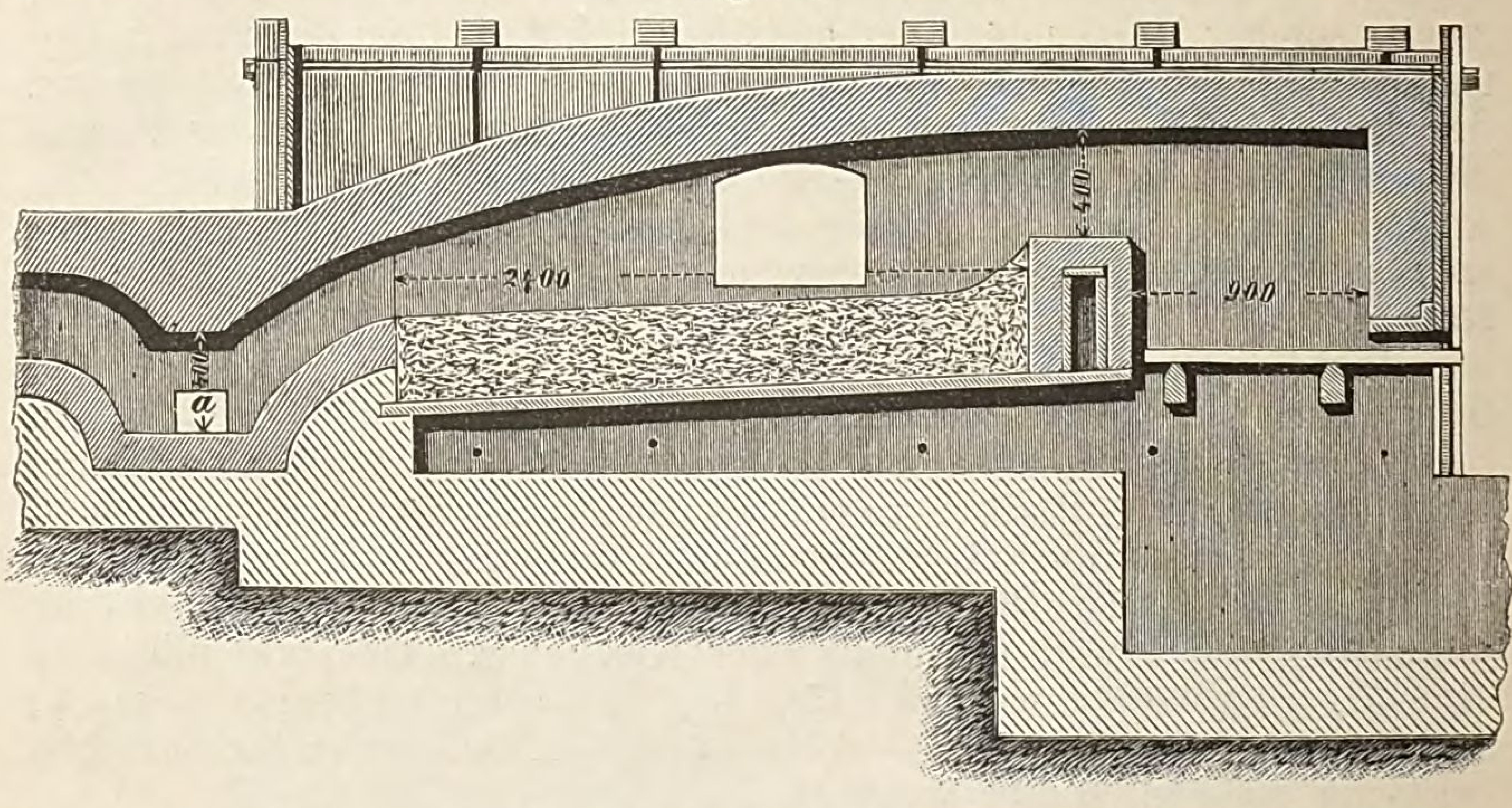
Sowohl Rost- als Gasfeuerung kommt zur Heizung der Schweissöfen zur Anwendung; Schweissöfen mit Gasfeuerung sind ziemlich häufig. Die gleichmässig hohe Temperatur, welche in einem Schweissofen erhalten werden muss, lässt die Benutzung der Gasfeuerung für diesen Zweck als besonders geeignet erscheinen; Schweissöfen mit Siemensfeuerung finden in solchen Fällen vornehmlich Verwendung, wo man sich minderwerthiger Brennstoffe (Braunkohlen, Torf) bedienen will.

Die abziehenden Gase, welche aus dem heissen Ofen eine bedeutende Menge Wärme entführen, pflegt man bei den Oefen mit Rostfeuerung und denjenigen Gasöfen, deren Eigenthümlichkeit nicht, wie die der Siemensöfen, diese Verwendung ausschliesst, zum Heizen

1) Aus Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde.
2) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 489.

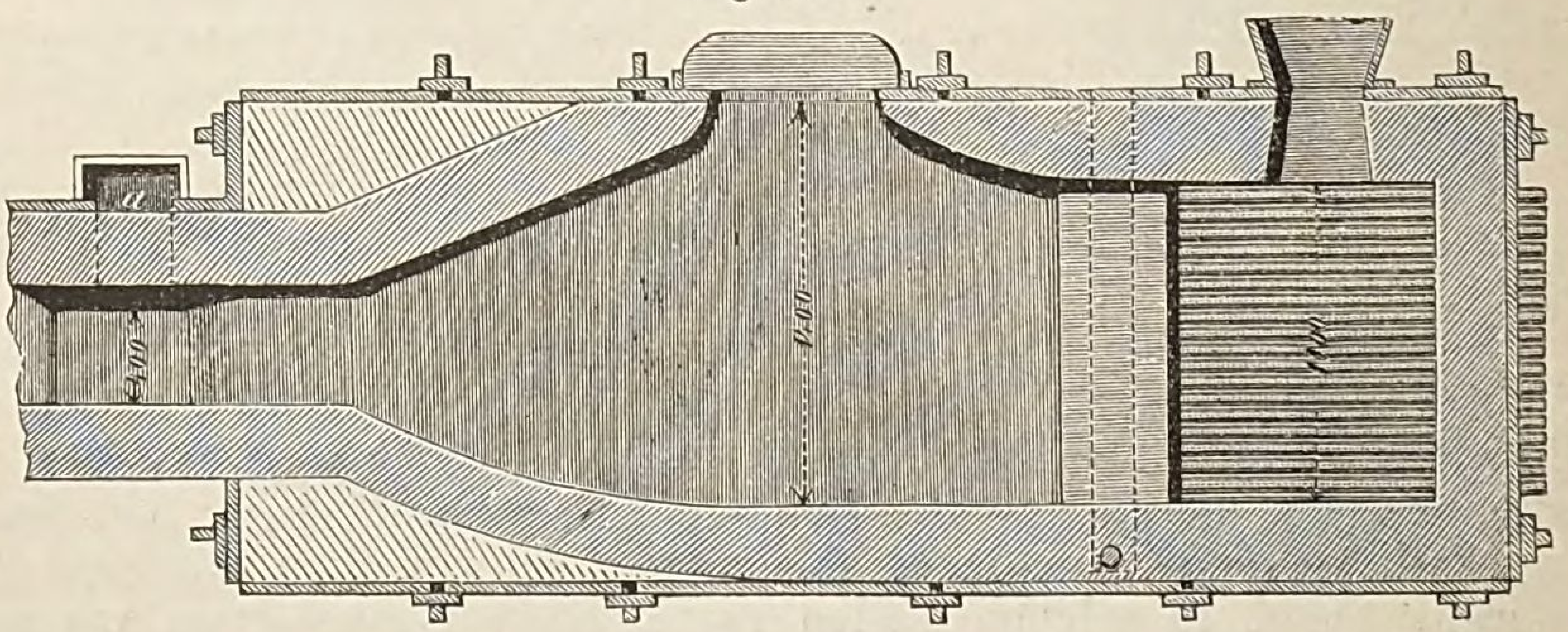
der Dampfkessel zu benutzen, welche den zum Betriebe der Walzwerke erforderlichen Dampf liefern. Die Anordnung der Oefen und Dampfkessel gegen einander ist in diesem Falle ganz die nämliche wie bei Puddelöfen. Auch hier kann die Abhitze der Oefen zur Heizung der Dampfkessel ausreichen, falls die Maschinen mit geringem Dampfverbrauche arbeiten und die sonstigen Umstände günstig sind.

Fig. 309.



Ein Schweissofen mit Rostfeuerung ist in Fig. 309—311 in $^1/_{50}$ der wirklichen Grösse dargestellt. Der Herd des Ofens ist flach und wird durch eine Sandschüttung auf Gusseisenplatten gebildet, welche

Fig. 310.

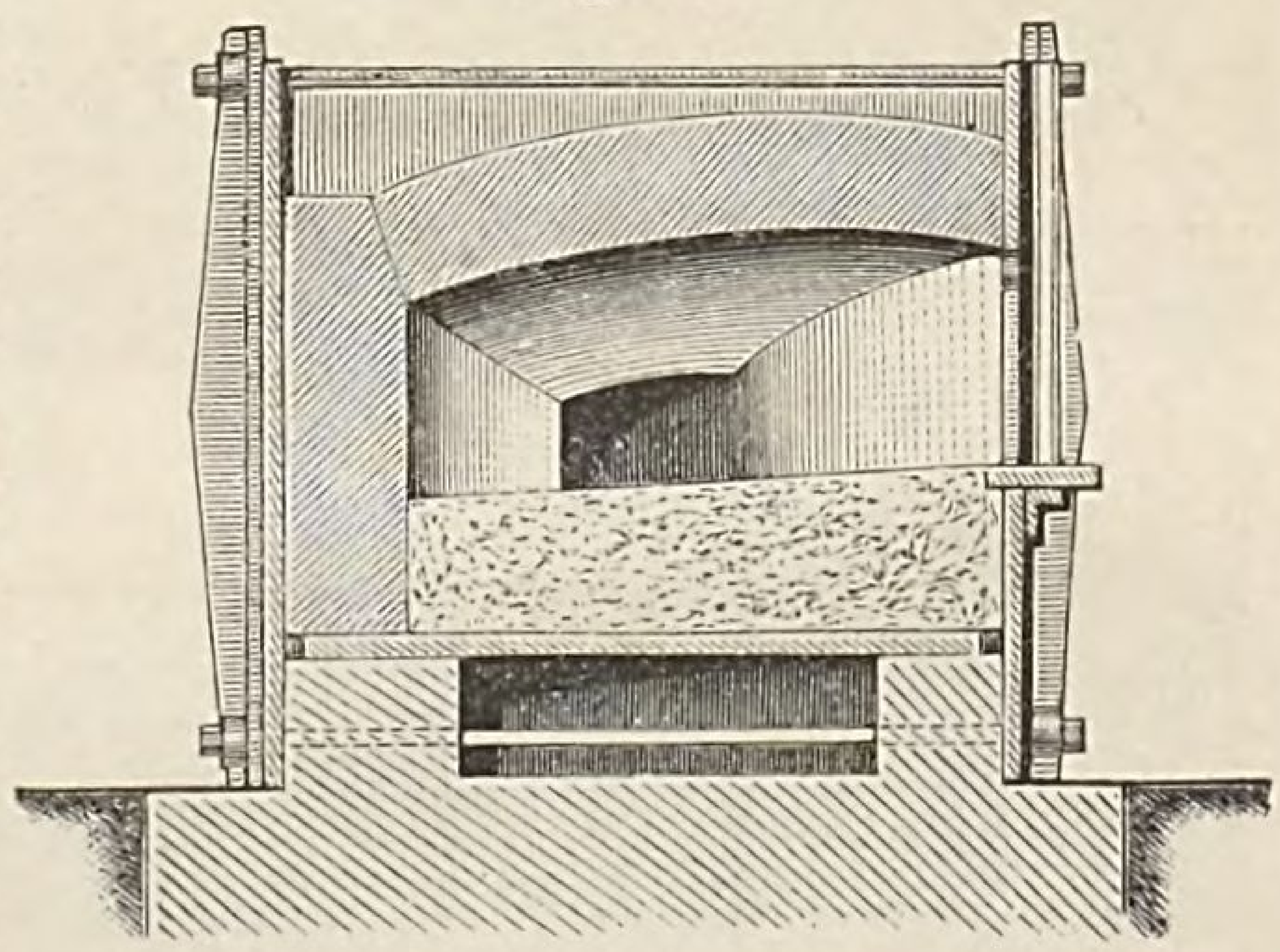


von einer Seitenwand zur andern hinübergehen. Wasserkühlung, wie bei Puddelöfen, ist selten oder gar nicht in Anwendung, da hier die zerstörende Einwirkung der Schlacken wegfällt; der Feuerbrücke dagegen giebt man nicht selten eine Luftkühlung (Fig. 309), aus einem hindurch gehenden Kanale bestehend, welchen man an der Rückseite des Ofens in ein senkrechtes, als Esse wirkendes Rohr ausmünden lässt. Die Feuerbrücke ist um so niedriger, je stärker das auf dem

Herde befindliche Eisen erhitzt werden muss und je weniger es vor der Oxydationswirkung der Gase geschützt zu werden braucht; bei Oefen also, welche ausschliesslich zum Schweissen von sehnigem Eisen bestimmt sind, niedriger als bei solchen für Feinkorneisen oder Stahl.

Damit die aus dem oxydirten Eisen und dem Herdmateriale sich bildende Schlacke abfliessen könne, giebt man dem Herde eine Neigung abwärts, sowohl in der Richtung des Gasstromes als nach der Rückseite des Ofens zu. Durch den steil abfallenden Fuchs gelangt alsdann die Schlacke in eine Vertiefung, aus welcher sie durch eine in der Seitenwand des Fuchskanales angebrachte Oeffnung ununterbrochen in einen ausserhalb befindlichen Sumpf (*a* in Fig. 309 und 310) abfliesst, wo sie erstarrt.

Fig. 311.



Die Grösse der Thüröffnung muss dem Durchmesser der einzusetzenden Packete und Eisenstücke entsprechend bemessen sein. Die Thür besteht, wie die anderer Flammöfen, aus einem Gusseisenrahmen mit eingesetzten feuerfesten Steinen und wird durch Hebel und Kette zwischen Führungsleisten emporgezogen.

Um der durch die Thür veranlassten Abkühlung entgegenzuwirken, ist es auch bei Schweissöfen (wie bei Puddelöfen) üblich, die Decke von der Rückseite des Ofens nach der Thürseite etwas ansteigen zu lassen (Fig. 311) und die Mittellinie des Fuchses etwas näher an die Thürseite als an die Rückseite zu legen, um hierdurch die Flamme mehr nach vorn zu ziehen.[1])

Unterwind kommt, wie bei anderen Flammöfen mit Rostfeuerung (Seite 134), auch bei Schweissöfen nicht selten zur Anwendung und kann eine Brennstoffersparung ermöglichen, sofern die Beschaffenheit des Brennstoffs die Anwendung dieser Betriebsweise ermöglicht.

Nach einer vom technischen Vereine für Eisenhüttenwesen im Jahre 1872 gefertigten Zusammenstellung[2]) walten folgende Beziehungen zwischen den Abmessungen und der Leistungsfähigkeit der mit Steinkohlen geheizten Schweissöfen mit Rostfeuerung ob.

Uebliche Grösse der Einsätze für Feineisen und Walzdraht 600 – 850 kg, für mittelstarke Eisensorten 600—1250 kg, für grobe 1400—2400 kg.

Je grösser die eingesetzten Stücke oder Packete sind, desto längerer Zeit bedürfen sie, um schweisswarm zu werden; daher beträgt

die Anzahl der Einsätze in 24 Stunden 9—24, gewöhnlich jedoch 16—20;

die Gesammtmenge des in 24 Stunden eingesetzten Eisens 8—22 t, gewöhnlich 12—14 t.

1) Bei dem abgebildeten Ofen ist die letztere Regel nicht befolgt; die Mittellinie des Fuchses liegt genau in der Verlängerung der Mittellinie des Rostes.

2) Vergl. Literatur.

Grösse der Rostfläche bei den kleinsten Oefen 0,8 qm, bei den mittelgrossen etwa 1 qm, bei den grössten bis 1,3 qm.

Herdfläche von der Feuerbrücke bis zum Fuchse 2,2 bis 3 qm; Herdbreite von der Rückwand bis zur Thüröffnung 1,3—1,8 m.

Tiefe des Rostes unter der Feuerbrückenoberkante 0,35—0,70 m; Höhe der Feuerbrückenoberkante über dem Herde 0,10—0,40 m.

Verhältniss des Fuchsquerschnitts zur Rostfläche durchschnittlich 1 : 7.

Unter den verschiedenen, in den letzten Jahrzehnten eingeführten Arten der Gasfeuerung, deren wichtigste bereits in der ersten Ab-

Fig. 312.

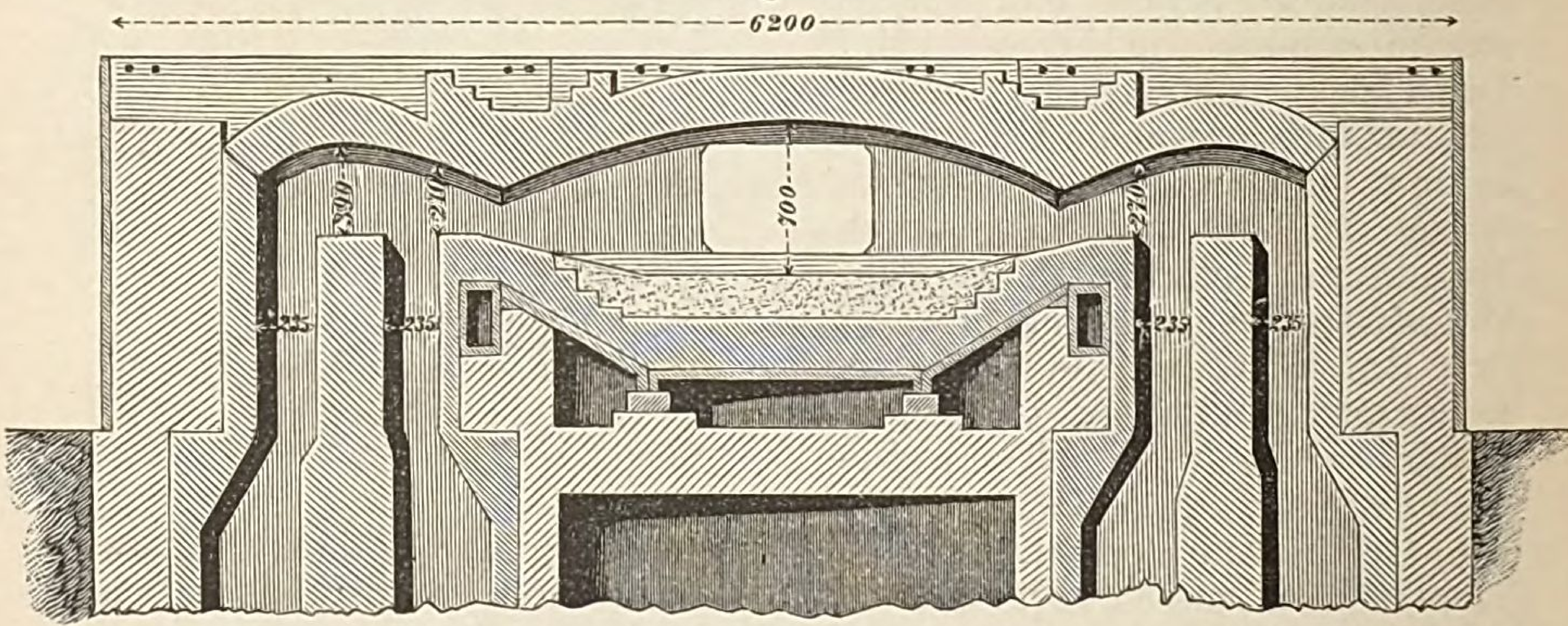
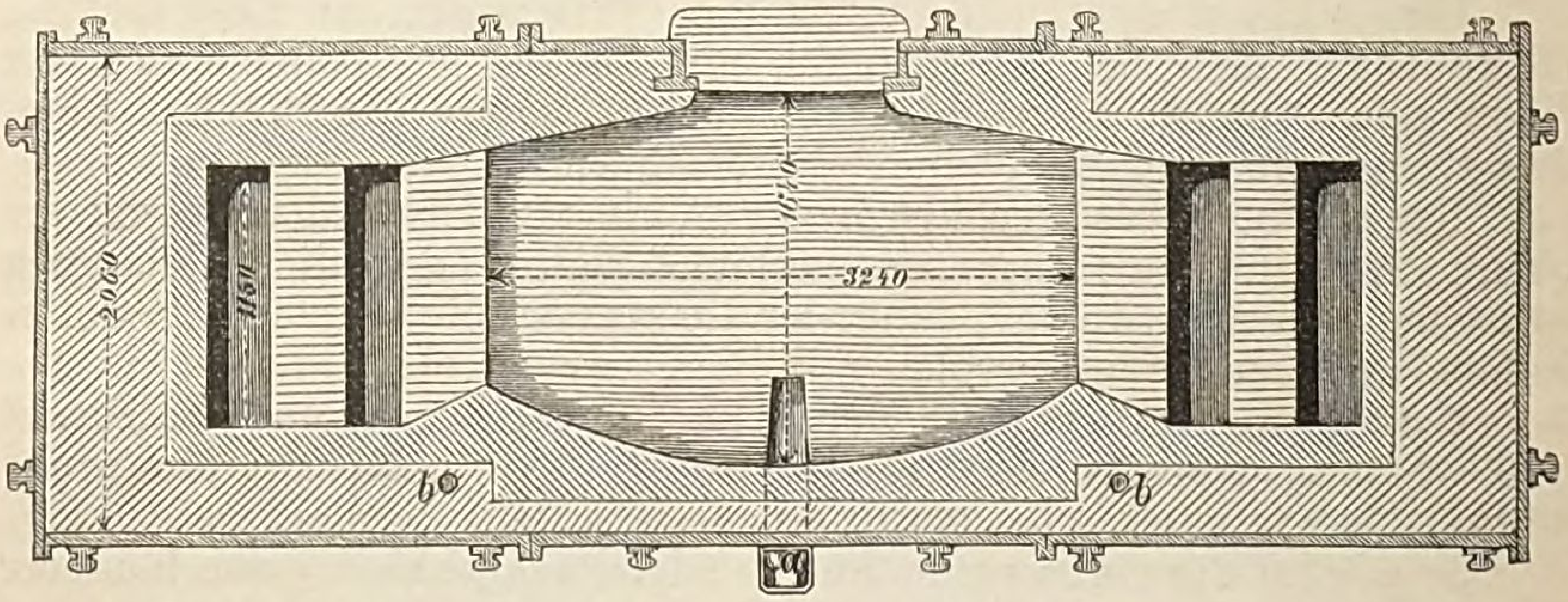


Fig. 313.



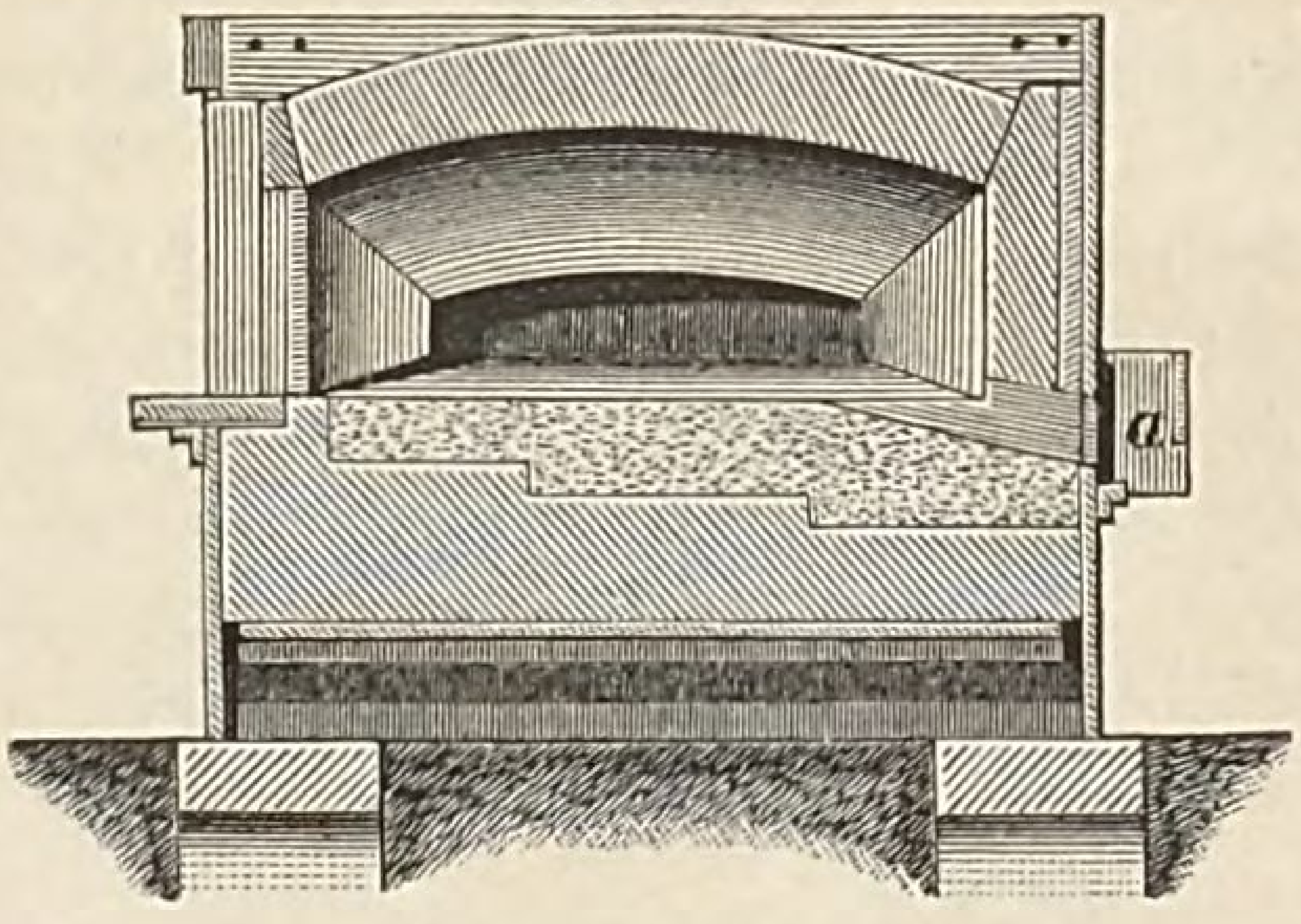
theilung dieses Buches besprochen wurden, giebt es kaum eine, deren Anwendung nicht auch hier oder da beim Schweissofenbetriebe erprobt worden wäre; manche waren schon von vornherein für den Schweissofenbetrieb bestimmt.

Zu den in der Jetztzeit gebräuchlichsten Gasschweissöfen gehört der auf Seite 152 beschriebene Bicherouxofen, ausgezeichnet durch Einfachheit der Einrichtung bei verhältnissmässig günstiger Aus-

nutzung des Brennstoffs. Der in Fig. 41 und 42 (Seite 153) abgebildete Bicherouxofen ist ein Schweissofen und unterscheidet sich, abgesehen von der Feuerung, nicht wesentlich von den Schweissöfen mit Rostfeuerung.

Auch der Boëtiusofen (Fig. 39 und 40 auf Seite 152) kann als Schweissofen dienen; doch ist diese Art der Gasfeuerungen, wie schon früher erwähnt wurde, in den letzten Jahrzehnten nicht mehr häufig zur Anwendung gekommen.

Fig. 314.



Ein Schweissofen mit Siemensfeuerung, für die Heizung mit Braunkohlengas bestimmt, ist in Fig. 312 bis 314 abgebildet. Der Ofen ist mit liegenden Wärmespeichern, stark gewölbter Decke und einfach angeordneter Gas- und Luftzuführung versehen; er unterscheidet sich von anderen Siemensöfen, z. B. Martinöfen, im Wesentlichen nur durch die flachere Form des Herdes. Letzterer besteht, wie bei den Oefen mit Rostfeuerung, aus einer Lage Quarzsand und wird von eisernen Platten getragen. Der Schlackenabfluss findet sich an der Rückseite des Ofens bei *a*, und der Herd fällt von allen Seiten her nach dieser Stelle hin ab. Die Feuerbrücken sind durch Luftröhren gekühlt, welche mit den kleinen Essenröhren *b b* (Fig. 313) in Verbindung stehen.

Der auf Seite 149 besprochene, in Fig. 35 bis 38 abgebildete Ofen von Biedermann und Harvey (neuer Siemensofen) hat auf einigen Werken Grossbritanniens zum Schweissen Anwendung gefunden.

Das Arbeitsverfahren für die Bedienung der Schweissöfen ist einfach. Die zu erhitzenden Eisenstücke oder Packete werden mit Hülfe einer breiten Schaufel durch die geöffnete Thür in den Ofen geschoben und an geeigneter Stelle der Flamme preisgegeben. Kurz vor dem Herausnehmen pflegt man sie zu wenden, so dass die zu unterst befindliche, weniger stark erhitzte Seite oben zu liegen kommt; dann werden sie mit einer Zange herausgeholt und auf einem eisernen Wagen nach dem Walzwerke gefahren. Zuerst werden die an der heissesten Stelle des Ofens (in der Nähe der Feuerbrücke) befindlichen Stücke nach einander herausgenommen; während diese ausgewalzt werden, bringt man, sofern es erforderlich ist, die übrigen an die von ihnen im Ofen vorher eingenommene Stelle, um auch sie der höheren Temperatur auszusetzen.

Der Brennstoffverbrauch richtet sich nach der Einrichtung und Grösse der Oefen und nach der Grösse der eingesetzten Stücke. Bei Schweissöfen mit Rostfeuerung pflegt der Steinkohlenverbrauch für 1000 kg einmal geschweissten Eisens 400—700 kg zu betragen. Bei Gasschweissöfen ist der Verbrauch entsprechend niedriger; Siemensöfen mit Steinkohlengasfeuerung erfordern gewöhnlich 200—350 kg Steinkohlen für 1000 kg Eisen. Bei Braunkohlengasfeuerung fällt der

Brennstoffverbrauch um so viel höher aus, als der Brennwerth der Kohlen geringer ist, und kann 400—800 kg für 1000 kg Eisen betragen.

Der Gewichtsverlust (Abbrand) beim Schweissen richtet sich theils nach dem Schlackengehalte des zu schweissenden Eisens, theils nach der Form und Grösse der eingesetzten Stücke, theils auch nach der Einrichtung des Ofens und der Beschaffenheit des Brennstoffs. Bei der Schweissung von Packeten pflegt der Abgang 9—12 Hunderttheile des ursprünglichen Gewichtes zu betragen; wird das ausgewalzte oder geschmiedete Packet noch ein Mal erhitzt, so ist der Abbrand hierbei geringer und beträgt gewöhnlich etwa 4—5 Hunderttheile.[1])

Ueber die Anzahl und Grösse der Einsätze, welche in einem Schweissofen von bestimmter Grösse im Laufe eines Tages verarbeitet werden können, wurden schon auf Seite 1011 einige Mittheilungen gemacht. Auf 1 qm Herdfläche bezogen beträgt das Gewicht des in 24 Stunden erhitzten Eisens 4,5—6,5 t.

In jeder Schicht sind gewöhnlich 2 Mann, ein Vorarbeiter und ein Gehülfe, an jedem Ofen beschäftigt.

Als ein Nebenerzeugniss des Schweissofenbetriebes entsteht die Schweissofenschlacke, in ihrem Aussehen und ihrer Zusammensetzung der Puddel- oder Herdfrischschlacke ähnlich und wie diese reich an Eisen. Die meisten derartigen Schlacken enthalten 20 bis 30 Hunderttheile Kieselsäure, 50 Hunderttheile oder etwas darüber an Eisen, grösstentheils in Form von Oxydul, theilweise jedoch auch höher oxydirt, daneben gewöhnlich Phosphorsäure (selten mehr als 1 Hunderttheil), sowie kleine Mengen Thonerde, Schwefel u. s. w.

Man benutzt die Schweissofenschlacken als Zusatz zu den Hochofenbeschickungen oder als Zuschlag beim Puddeln.

3. Die Verarbeitung des Flusseisens.

a) Allgemeines.

Da bei der Verarbeitung des Flusseisens jene Reinigung von Schlacke ausser Betracht kommt, welche bei der Verarbeitung des Schweisseisens so wesentlich den Verlauf der Arbeit bedingt, ist das Verfahren im Ganzen einfacher als in dem letzteren Falle. Es kommt im Wesentlichen nur darauf an, jene prismatischen Blöcke, welche die erste Form des gegossenen Flusseisens zu bilden pflegen, zu verdichten und zugleich ihnen eine für die spätere Benutzung geeignete Form zu geben.

Das bei der Verarbeitung des Schweisseisens gewöhnlich unumgängliche Packetiren fällt demnach bei der Verarbeitung des Flusseisens weg. Es ist nicht nur entbehrlich, sondern es würde sogar durch die Bildung von Schweissstellen den Werth der fertigen Waare wesentlich abmindern. Die Herstellung der Fertigerzeugnisse geschieht aus dem vollen, ungeschweissten Blocke, dessen Grösse von vornherein

1) Vergleiche die Fussanmerkung auf Seite 1008.

dem Gewichte des zu fertigenden Stückes angepasst werden kann. In dieser Abwesenheit aller Schweissstellen liegt eben, wie schon früher bei verschiedenen Gelegenheiten hervorgehoben worden ist, ein wesentlicher Vorzug des Flusseisens.

Jene erforderliche Verdichtung des Flusseisens fällt um so vollkommener aus, je stärker die auf den Block ausgeübte Kraftwirkung ist; andererseits nimmt die Schwierigkeit, auch in den innersten Theilen des Blockes eine vollständige Verdichtung herbeizuführen, mit dessen Durchmesser zu. Diese Umstände erklären es, dass man in den ersten Jahrzehnten nach Einführung der neueren Verfahren der Flusseisendarstellung ziemlich ausnahmslos für die erste Verdichtung der Blöcke schwere Dampfhämmer benutzte, deren Schlagwirkung man als günstiger für die Verdichtung betrachtete, als die Wirkung des Walzens. Andererseits aber ist das Schmieden eine zeitraubende und deshalb kostspielige Arbeit; es erfordert wegen der öfter nothwendigen Erhitzungen der Blöcke einen erhöhten Aufwand an Kohlen, und wenn die Blöcke während des Schmiedens an der Aussenfläche allzusehr abkühlen, kann es geschehen, dass sie hier kleine Risse bekommen, welche, wenn sie nicht vor dem erneuerten Erhitzen mit dem Meissel ausgehauen werden, die Entstehung unganzer Stellen in dem Fertigerzeugnisse veranlassen. Je mehr man daher lernte, durch Benutzung der früher erörterten Mittel, insbesondere auch durch entsprechende Regelung der chemischen Zusammensetzung des Flusseisens, schon beim Giessen dichte Gussblöcke zu erzeugen, eine desto triftigere Veranlassung erhielt man, die Verdichtung der Blöcke durch Schmieden zu umgehen, sie sofort dem Walzwerke zu übergeben und durch dieses ebensowohl die Verdichtung als die Formgebung bewirken zu lassen. Je grösser aber die Blöcke gegossen werden, desto geringer ist nach Früherem die Gefahr, dass ihre Dichtigkeit übermässig durch eingeschlossene Gasblasen geschmälert werde. Dieser Umstand war es vornehmlich, welcher die Einrichtung der oben (Seite 751) besprochenen Blockwalzwerke für schwere Blöcke veranlasste. Man giesst die Blöcke in reichlichen Abmessungen, giebt ihnen auf dem Blockwalzwerke die erste Verdichtung und Formgebung und theilt sie dann, wenn erforderlich, in mehrere Stücke, um aus ihnen nunmehr die Fertigerzeugnisse zu walzen.

Dass auch bei Herstellung solcher Gegenstände, deren Formgebung im Walzwerke nicht möglich ist, der Hammer in der Jetztzeit häufig und mit Vortheil durch die Presse ersetzt wird, ist schon bei Besprechung dieser Vorrichtungen hervorgehoben worden.

b) Die Wärmöfen.

Die Temperatur, auf welche das Flusseisen, um verarbeitet zu werden, erhitzt werden muss, liegt durchgängig etwas niedriger als diejenige, deren das Schweisseisen bedarf, um geschweisst und von Schlacke gereinigt zu werden. Nur die kohlenstoffärmsten Sorten Thomas- oder Martineisen ertragen eine Temperatur, welche der Schweisstemperatur des sehnigen Schweisseisens nahe liegt; je reicher an Kohlenstoff, Silicium oder Mangan das Flusseisen ist, desto leichter ist es der

Gefahr des Verbrennens (Seite 694) oder des beginnenden Schmelzens unterworfen, in desto weniger hoher Temperatur muss es verarbeitet werden. Auch Schweissstahl erträgt und verlangt stärkere Erhitzung für eine günstig verlaufende Verarbeitung als Flussstahl mit dem gleichen Kohlenstoffgehalte.

Aus diesem Grunde, und weil eine Schweissung nicht beabsichtigt ist, nennt man die Oefen, in welchen die Erhitzung der Flusseisenblöcke vorgenommen wird, Wärmöfen, um sie von den für die Erhitzung des Schweisseisens bestimmten Schweissöfen zu unterscheiden.

Die Wärmöfen sind Flammöfen, den Schweissöfen bisweilen ähnlich. Da beim Erhitzen der Blöcke nicht, wie beim Erhitzen der Schweisseisenpackete, Schlacke ausfliesst, kann ihr Herd als wagerechte Ebene angeordnet sein, sofern nicht besondere Gründe die Anwendung eines

Fig. 315.

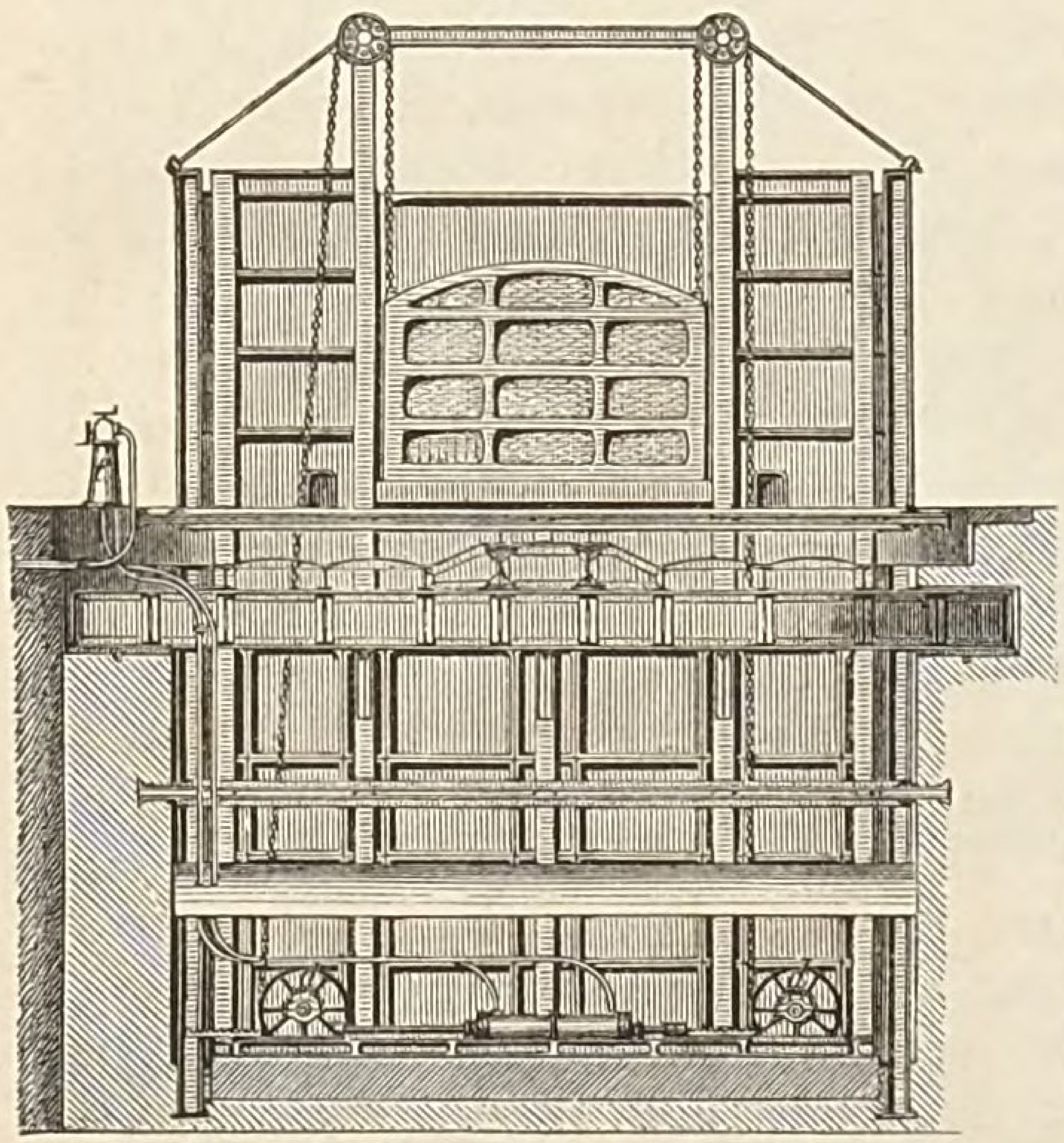
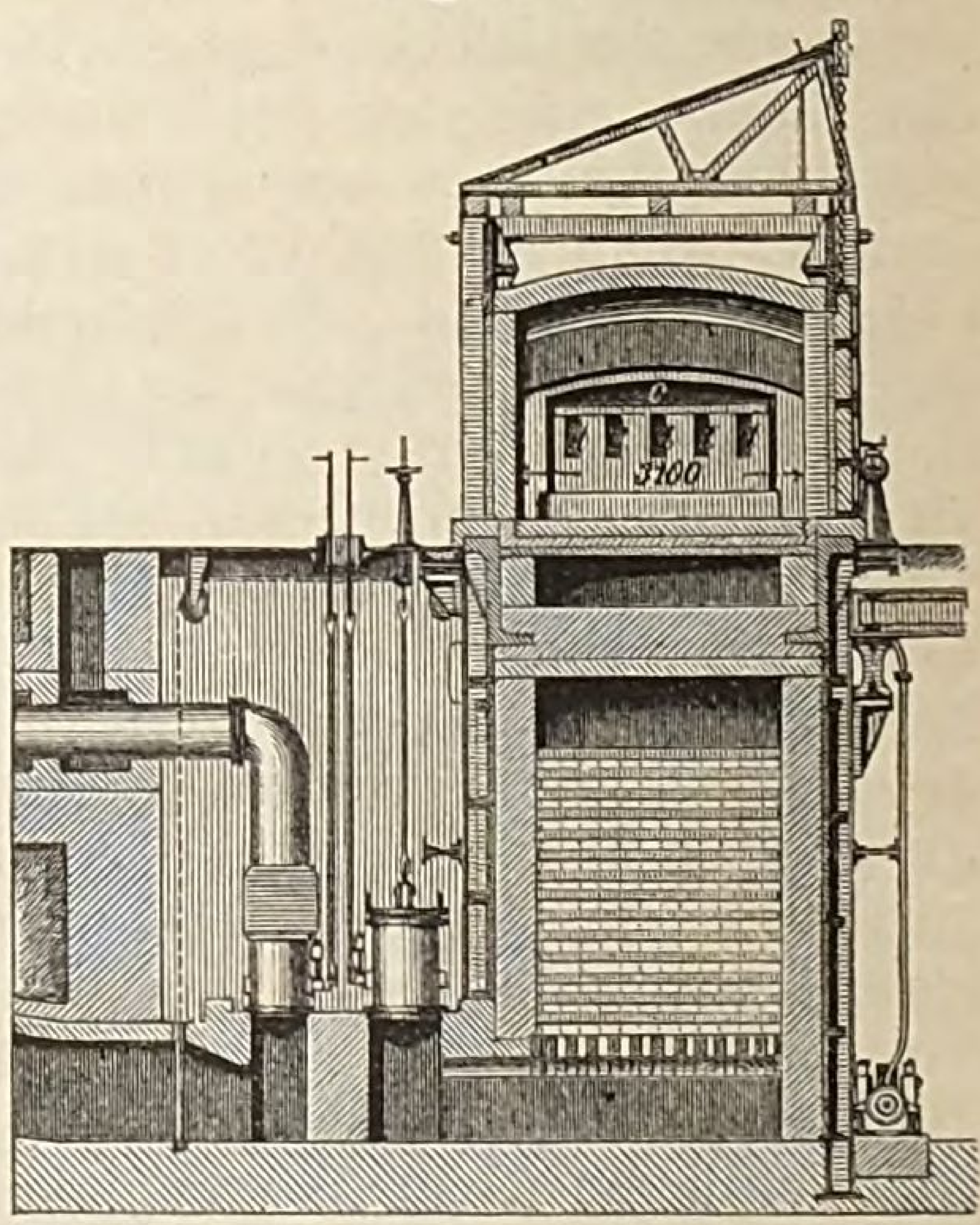


Fig. 316.



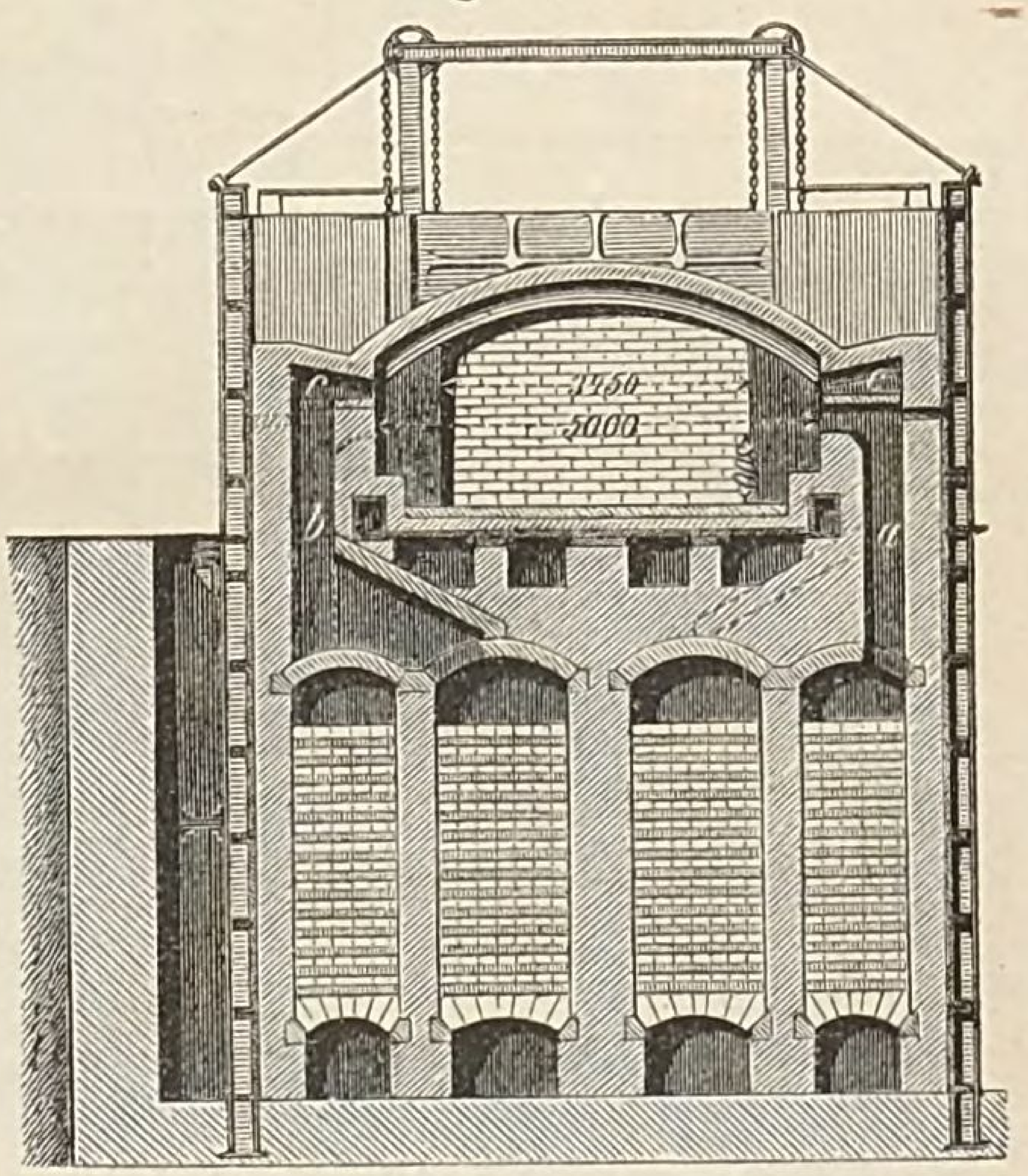
geneigten Herdes zweckmässiger erscheinen lassen; statt der Sandfüllung, welche bei den Schweissöfen die Bildung einer dünnflüssigen Schlacke beförderte, kann Mauerung als Herdsohle dienen. Die Feuerbrücke pflegt etwas höher als bei den Schweissöfen zu sein, um die Blöcke vor der unmittelbaren Berührung der Flamme zu schützen. Man wendet Oefen mit Rostfeuerung und mit Gasfeuerung an; zum Heizen grosser Wärmöfen ist Siemensfeuerung nicht selten in Anwendung.

Ein solcher grosser Wärmofen mit Siemensfeuerung, auf dem Eisenwerk Creusot in den siebziger Jahren erbaut und zum Wärmen der Blöcke für den in Fig. 186 auf Seite 724 abgebildeten Hammer bestimmt, ist in Fig 315 bis 317 in $^1/_{200}$ der wirklichen Grösse dargestellt.[1] Die Anordnung der Wärmespeicher ist in Fig. 317 erkennbar. Das Gas tritt durch die fünf Kanäle *a a* .. in den Ofen; die Luft steigt aus den

1) A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878.

mittleren Wärmespeichern in ebenfalls fünf Kanälen *b* empor, um dann durch den breiten Spalt *c* oberhalb des Gases in den Heizraum zu gelangen. Die Feuerbrücken sind hoch, die Decke stark gewölbt. Feuerbrücken und Bodenplatte sind durch hindurchgehende Luftkanäle kühl erhalten. Die Einsatzthür besteht, wie bei anderen Oefen, aus einem Gusseisenrahmen mit feuerfestem, aus Ziegeln hergestelltem Futter; wegen des bedeutenden Gewichtes dieser 3,7 m breiten, 2,5 m hohen Thür aber reicht jene bei kleineren Oefen übliche einfache Vorrichtung zum Aufziehen — Hebel mit Kette oder Kette mit Gegengewichten — nicht mehr aus. Wie Fig. 315 erkennen lässt, ist auf der Sohle des Schachtes, in welchem der Fuss des Ofens steht, ein wagerechter Wasserdruckcylinder angeordnet, von welchem aus vermittelst zweier Zahnstangen und Getrieben die Kettentrommeln *dd* bewegt werden, über welche die zum Aufziehen der Thür dienenden Ketten gelegt sind. Die Steuerung des Wasserdruckcylinders wird von der Hüttensohle aus bewirkt; *e* in Fig. 315 stellt die Steuerungsvorrichtung dar.

Fig. 317.



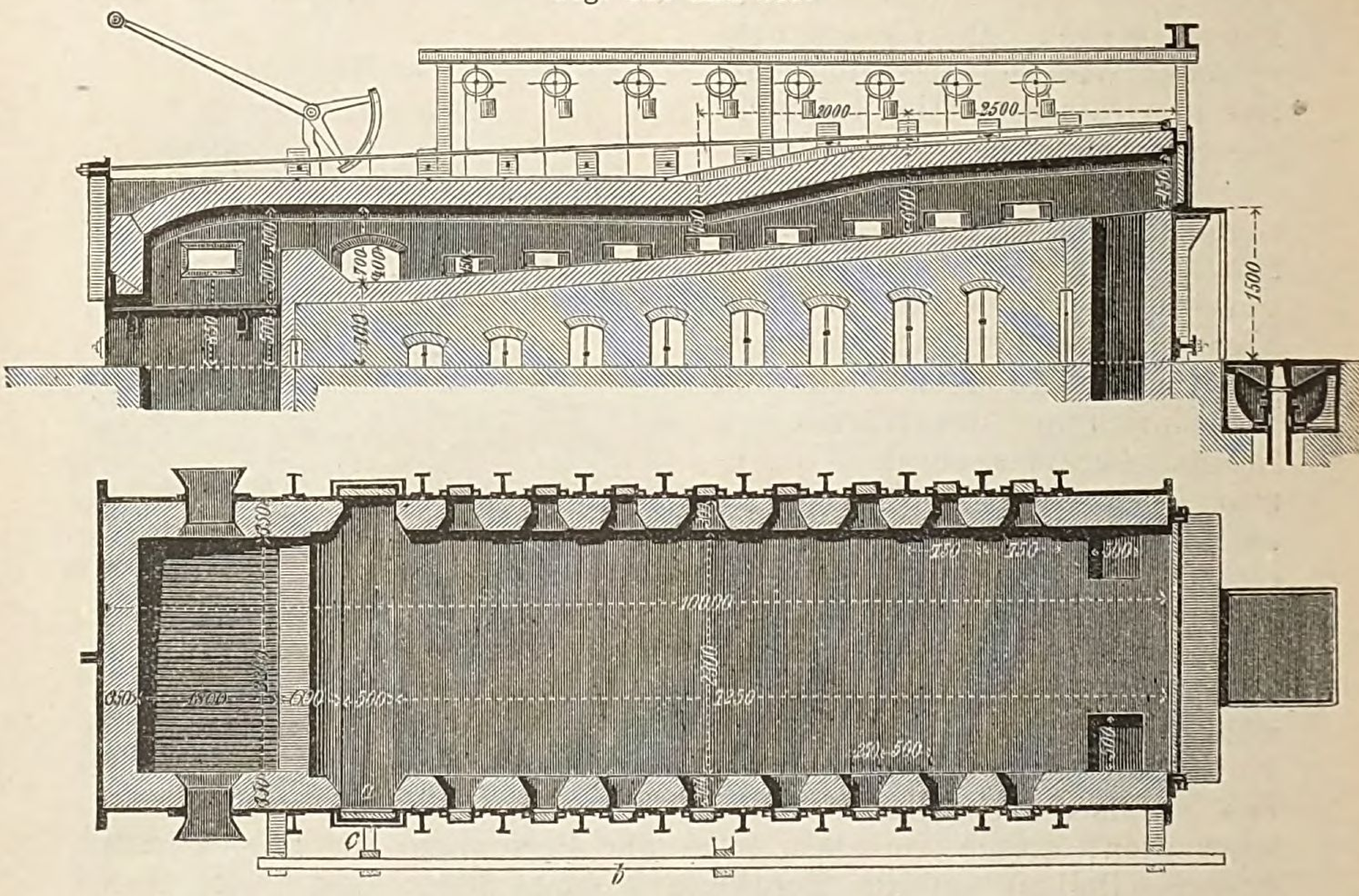
In solchen Fällen, wo in regelmässiger Folge zahlreiche Blöcke von gleichen Abmessungen gewärmt werden sollen (z. B. für Eisenbahnschienen - Darstellung), pflegt man zur Brennstoffersparung bei Einrichtung des Wärmeofens in nützlicher Weise von dem Gegenstromgesetz (Seite 52) Anwendung zu machen. Man giebt dem Ofen einen langgestreckten, zur Aufnahme zahlreicher Blöcke bestimmten Herd, auf welchem die Blöcke der Wärmequelle stetig näher gerückt werden, sobald die vollständig erhitzten Blöcke, welche bereits am längsten im Ofen verweilten, diesen verlassen. Da die Bewegung der Blöcke durch Kippen (Rollen) auf der Herdsohle bewirkt wird, damit alle Seiten jedes Blockes möglichst gleichmässige Erwärmung erhalten, hat man den Oefen den Namen Rollöfen gegeben. Sie sind meistens mit Rostfeuerung — mit oder ohne Unterwind — versehen. Um die Bewegung der Blöcke zu erleichtern, ist der Herd von der Einsatzthür an bis zur Feuerbrücke, in deren Nähe die gewärmten Blöcke herausgenommen werden, abwärts geneigt.

Einen solchen Rollofen zeigen die Abbildungen Fig. 318 und 319.[1]) Die Länge des Herdes von der Feuerbrücke bis zum entgegengesetzten Ende, wo die Blöcke eingesetzt werden, beträgt 7,25 m; seine Steigung entspricht ungefähr dem Verhältnisse 1 : 9. Die Einsatzöffnung nimmt die ganze Breite des Herdes ein und ist durch eine Thür geschlossen,

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, Taf. XIV.

bestehend aus einem mit feuerfesten Ziegeln ausgesetzten Rahmen, welche zwischen senkrechten Führungen vermittelst Ketten und Gegengewichten emporgezogen wird. Zur Erleichterung des Einsetzens ist ausserhalb des Ofens unmittelbar vor der Thüröffnung eine Wasserdruck-Hebevorrichtung angebracht, welche die Blöcke emporbefördert. An der andern Seite der Thür im Innern des Ofens münden in der Sohle des Ofenherdes zwei Fuchsöffnungen, durch welche die Gase abwärts nach dem Essenkanale entweichen. An beiden Langseiten des Ofens befinden sich in Abständen von je 75 cm zahlreiche kleine Thüröffnungen, zum Einführen eiserner Stangen dienend, mit deren Hülfe das Rollen der Blöcke bewirkt wird. Sie sind durch Schiebethüren geschlossen, welche, wie Fig. 318 erkennen lässt, an Ketten mit Gegengewichten hängen.

Fig. 318 und 319.



Durch die in unmittelbarer Nähe der Feuerbrücke befindliche Thür *a* erfolgt das Ausziehen der Blöcke. Zur Erleichterung dieser Arbeit ist vor dem Ofen in einiger Höhe über den Thüren die Welle *b* gelagert, welcher von dem Kolben der Hebevorrichtung aus eine bestimmte Drehung ertheilt werden kann. Vor der Ausziehöffnung ist an der Welle ein abwärts gerichteter Hebel *c* befestigt, welcher bis zur Thüröffnung hinabreicht und an welchen ein eiserner Haken mit Hülfe einer kurzen Kette angeschlossen werden kann, deren letztes Glied über das Ende des Hebels geschoben wird. Der in den Ofen geschobene Haken erfasst den Block; dann wird die Welle in Bewegung gesetzt, der Hebel schlägt nach aussen und zieht den Block auf den vorgefahrenen Karren.

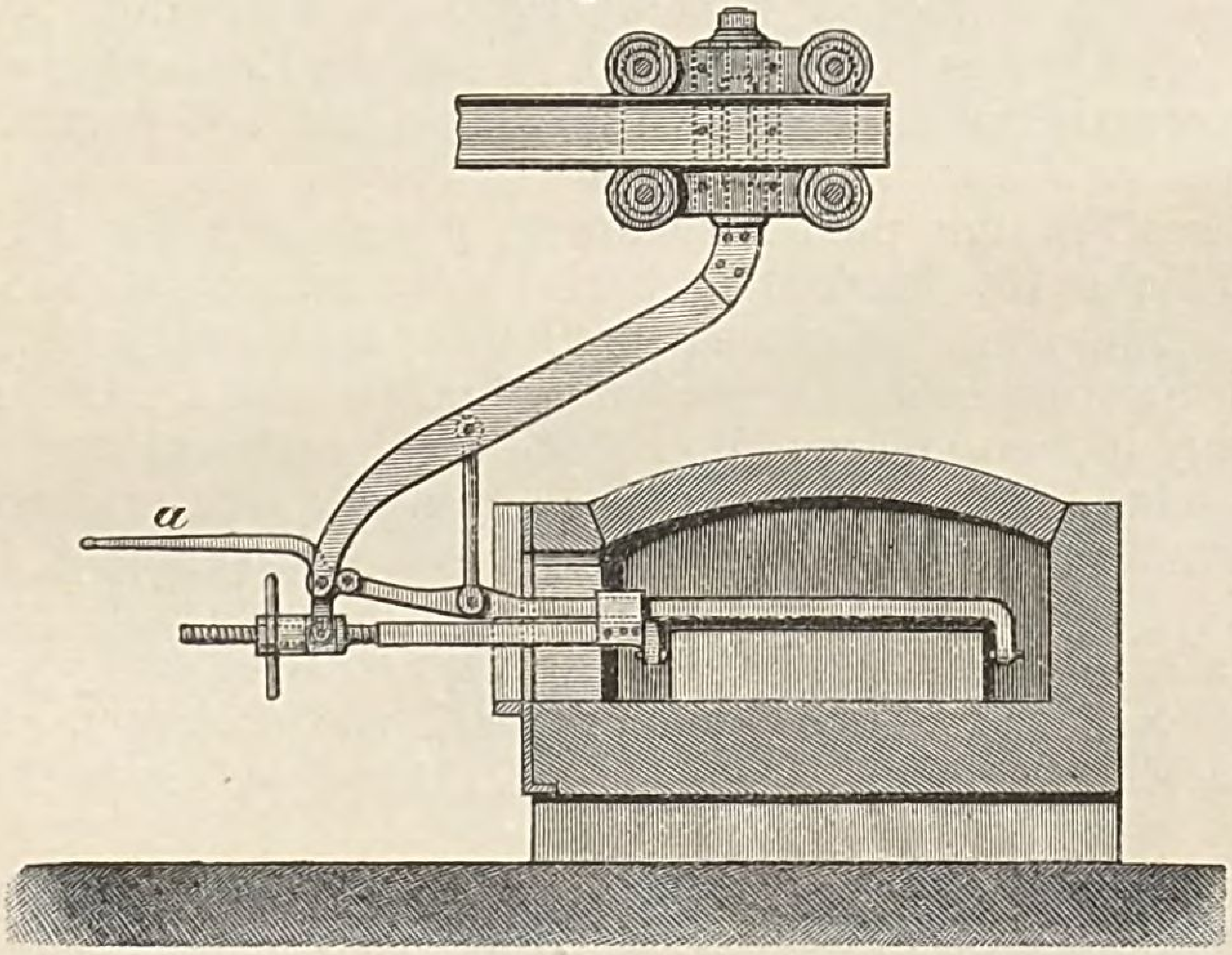
Bei ausreichender Länge des Herdes verlassen die Gase bereits

in so abgekühltem Zustande den Ofen, dass eine Benutzung zur Kesselfeuerung nicht mehr thunlich ist.

Ein Ofen von den angegebenen Abmessungen fasst etwa 30 Blöcke für je zwei Eisenbahnschienen, und jeder Block verweilt etwa 3 Stunden im Ofen.

Das Einsetzen und Herausnehmen der Arbeitsstücke bei den Wärmöfen erfolgt entweder, wie bei den Schweissöfen, durch Handarbeit mit Hülfe von Haken und Zangen oder durch Maschinen. Je schwerer die Blöcke sind, desto unentbehrlicher sind besondere Vorrichtungen für ihre Bewegung. Einer einfachen solchen Vorrichtung, mit deren Hülfe der Block aus dem Ofen herausgezogen wird, um von einem bereitstehenden Wagen aufgenommen zu werden, ist bereits vorstehend bei der Beschreibung des Rollofens Fig. 318 und 319 gedacht worden;

Fig. 320.



bei noch schwereren Blöcken ist auch ein Anheben vor dem Herausziehen nothwendig oder doch zweckmässig, um die Reibung auf der Herdsohle zu vermeiden. Die Einrichtungen für diesen Zweck sind ziemlich verschiedenartig und zum Theil von der Grösse der Blöcke abhängig; als ein Beispiel kann die in Fig 320 dargestellte, auf einem nordamerikanischen Eisenwerke eingeführte Einrichtung dienen.[1]) Auf dem senkrecht beweglichen und im Kreise drehbaren Ausleger eines Wasserdruckkrahnes ist eine Laufkatze angeordnet, welche den Bügel mit der Greifzange trägt. Letztere besteht aus zwei Stangen, deren umgebogene Enden mit eingesetzten Spitzen zum Erfassen des Blockes versehen sind. Mit Hülfe des in der Abbildung erkennbaren Handrades werden die Spitzen in solcher Entfernung von einander eingestellt, dass der Block bequem dazwischen passt, wenn der Handhebel *a* in der gezeichneten Stellung sich befindet. Dreht man nun den Hebel

1) Nach Iron Age in „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 307.

etwas abwärts, so werden die Spitzen einander genähert, und der Block wird erfasst. Jetzt wird der Ausleger des Krahnes und mit ihm die ganze Vorrichtung etwas gehoben; das Gewicht des Blockes wirkt alsdann auf den Hebel *a* in der Weise, dass die Spitzen noch fester in das Arbeitsstück hineingedrückt werden und man den Block mit völliger Sicherheit herausholen kann. Sobald er mit Hülfe des Krahnes auf den bereit gestellten Wagen niedergelassen ist, werden die Greifzangen und der Hebel *a* entlastet, und eine geringe Aufwärtsbewegung des letzteren genügt, den Block vollständig frei zu machen. In derselben Weise erfolgt das Einbringen der Blöcke in den Ofen.[1])

Der Brennstoffverbrauch in den Wärmöfen hängt von der Einrichtung des Ofens, der Grösse der Blöcke, hauptsächlich aber davon ab, ob die Blöcke kalt eingesetzt werden, oder ob man sie noch warm, unter Umständen rothglühend, dem Ofen zuführen kann, bald nachdem sie die Gussform verlassen haben. Letzteres Verfahren ist offenbar vortheilhafter, aber es ist nur möglich, wenn die Erzeugung der Blöcke und ihre Verarbeitung regelmässig unmittelbar auf einander folgen können.

In Wärmöfen mit Siemensfeuerung pflegt man für 1 t kalt eingesetzter Blöcke 160 bis 200 kg Steinkohlen zu gebrauchen, in Rollöfen etwa ebensoviel. Werden die Blöcke heiss eingesetzt, so verringert sich der erforderliche Brennstoffverbrauch in beiden Ofengattungen um so mehr, je mehr Wärme die Blöcke bereits mitbrachten, und kann auf 40 kg oder unter Umständen noch weniger sich ermässigen.[2])

Der stattfindende Abbrand bei jedem Wärmen und Auswalzen pflegt 2 bis 4 Hunderttheile vom Einsatzgewichte zu betragen. Er ist niedriger als in Schweissöfen, da keine Schlacke ausgepresst wird und die Blöcke der Flamme weniger Oberfläche darbieten als die aus zahlreichen Einzelstücken bestehenden Packete des Schweisseisens.

c) Die Ausgleichgruben.

Bei Besprechung der Wärmöfen wurde des Umstandes gedacht, dass der Brennstoffverbrauch zum Wärmen der Blöcke sich ermässigen lässt, wenn man sie bald nach dem Giessen noch heiss in den Ofen einsetzen kann. Da nun aber die Flusseisenblöcke, nachdem sie gegossen wurden, ohnehin allmählich sämmtliche Temperaturen von der Schmelzhitze bis zur völligen Abkühlung durchlaufen, muss der Gedanke nahe liegen, sie zur Ersparung einer besonderen Erhitzung sofort der Verarbeitung zu unterziehen, sobald sie nach dem Erstarren auf die dafür geeignete Temperatur abgekühlt sind. Dennoch ist ohne Weiteres ein solches Verfahren nicht ausführbar. Die Abkühlung der Blöcke geht nicht gleichmässig innerhalb des ganzen Querschnitts vor sich, sondern beginnt rasch an der Aussenfläche und setzt sich dann allmählich nach innen fort. Die äussere Kruste ist bereits hart und

1) Ueber sonstige Vorrichtungen zu dem nämlichen Zwecke vergleiche „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 305.

2) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 942.

spröde, während der Block im Innern noch vollständig weich, unter Umständen noch flüssig ist. Wollte man den Block in diesem Zustande schmieden oder walzen, so würde das weiche Metall aus dem Innern herausgedrückt werden und die Kruste Risse bekommen.

Ist jedoch der Betrieb umfangreich genug, dass die Einsätze rasch auf einander folgen, die Blöcke also kurze Zeit, nachdem sie gegossen wurden, zur Verarbeitung gelangen, so lässt sich selbst ohne Anwendung jeden Brennstoffs eine gleichmässige Durchwärmung der Blöcke erzielen, wenn man sie in engen, aus schlechten Wärmeleitern

Fig. 321.

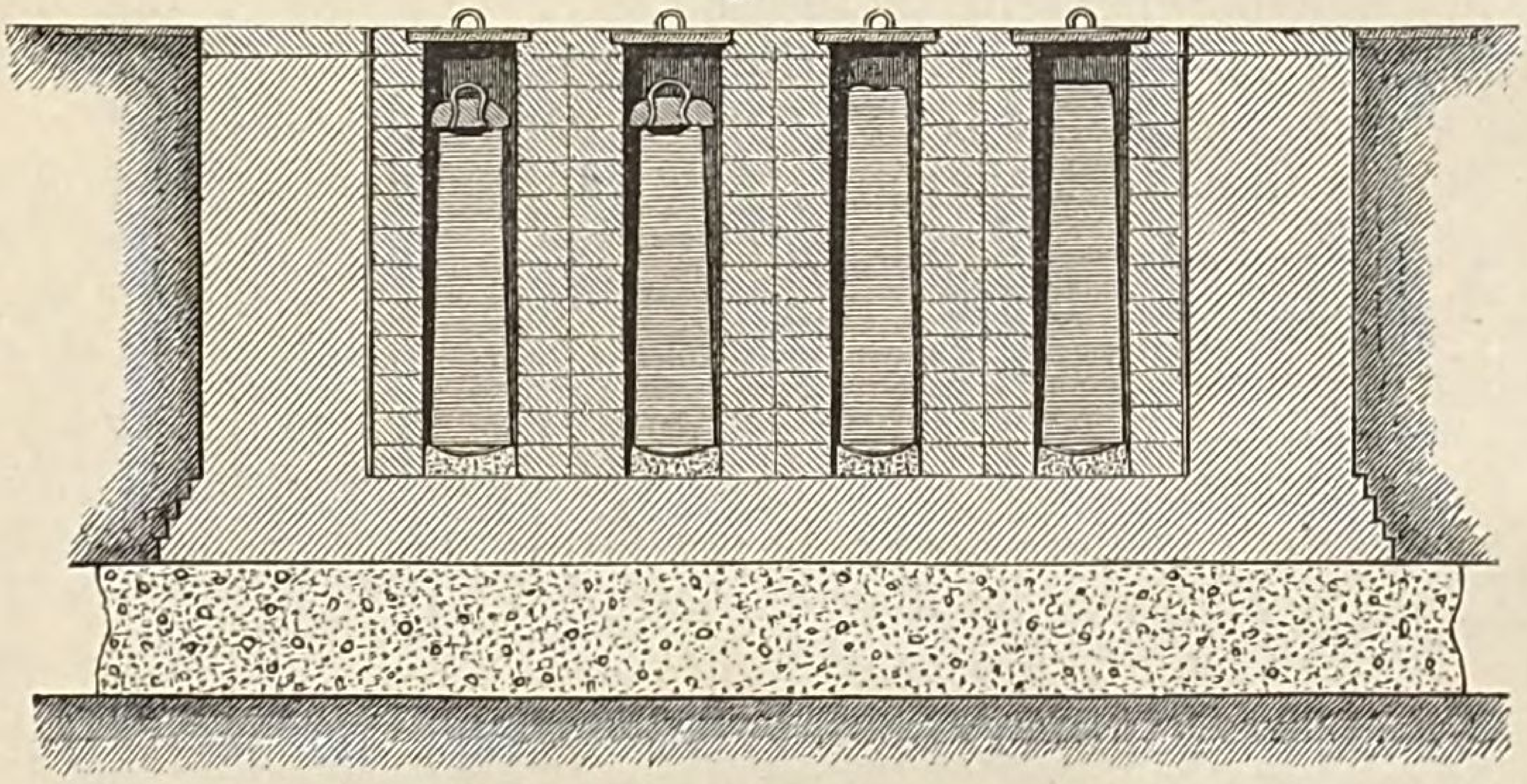
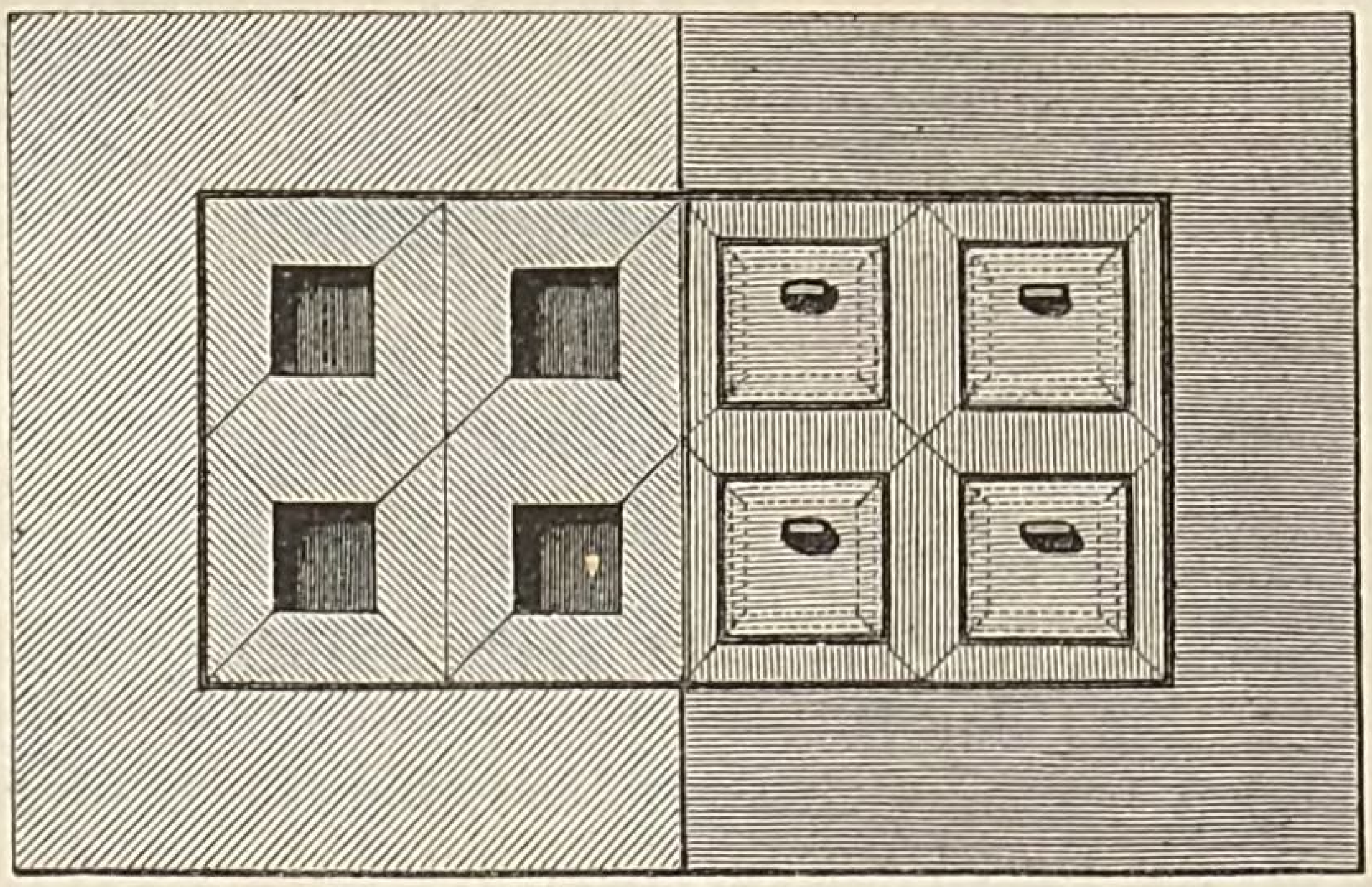


Fig. 322.



gebildeten Räumen, die immer wieder für die Blöcke des nächsten Einsatzes benutzt werden, und deren Wände deshalb ununterbrochen warm bleiben, einige Zeit sich selbst überlässt.

Dieses Verfahren, von John Gjers im Jahre 1882 auf den Darlington Steel and Iron Works ausgebildet, ist seitdem auf zahlreichen grösseren Eisenwerken eingeführt worden.

Gjers benutzt für den genannten Zweck grubenförmige, mit feuerfesten Steinen eingefasste Räume, Ausgleichgruben genannt[1]), deren jeder in der Regel nur einen einzigen Block aufnimmt und daher im Durchmesser und in der Höhe nur wenig grösser ist als dieser. Fig. 321

1) Englisch Soaking-pits.

und 322 zeigen die Einrichtung einer Gruppe von acht solchen Gruben. Sie sind durch Mauerwerk von feuerfesten Ziegeln eingefasst und oben durch je einen Deckel geschlossen, welcher aus einem eisernen Rahmen mit eingesetzten feuerfesten Steinen besteht. Die Sohle der Gruben wird aus Kokslösche gebildet, welche man so hoch aufschüttet, als der Höhe des einzusetzenden Blockes entspricht. Hat sich Schlacke am Boden gebildet, so muss diese entfernt werden, damit sie nicht an den Block sich festsetze. Der Durchmesser der Gruben pflegt 100 bis 200 mm grösser als der des Blockes an seinem stärksten Ende zu sein. Mitunter legt man unmittelbar auf den Block noch einen besonderen Deckel, aus einem Schamottesteine bestehend (Fig. 331 links); das Verfahren hat sich indess als entbehrlich erwiesen.

Eine frisch zugestellte Grube wird zunächst durch Einsetzen rothwarmer Blöcke allmählich ausgetrocknet, während der Deckel abgehoben ist; mehrere Tage sind hierfür erforderlich. Dann werden heissere Blöcke eingesetzt, der Deckel aufgelegt und das Verfahren so lange fortgesetzt, bis die Wände der Grube hellrothglühend geworden sind. Nun erst beginnt der regelmässige Betrieb, bei welchem die eingesetzten Blöcke eines Nachwärmens in Oefen nicht mehr bedürfen. Die Zeitdauer des Verweilens der Blöcke in der Grube pflegt 8 bis 20 Minuten, mitunter auch noch etwas darüber zu betragen. Die Grösse der Blöcke, ihre chemische Zusammensetzung und der Umfang des Betriebes sind hierbei maassgebend. Grosse Blöcke verweilen längere Zeit als kleinere, kohlenstoffreichere, welche im Innern lange Zeit flüssig bleiben, längere Zeit als kohlenstoffarme. Das Einsetzen und Herausnehmen erfolgt mit Hülfe einer eisernen, an einem Krahne hängenden Zange. Zur Bedienung von 16 bis 24 Gruben pflegen zwei bis vier Arbeiter erforderlich zu sein. Bei eintretenden Betriebsunterbrechungen deckt man die Gruben mit einer dicken Aschenschicht ab und kann sie auf diese Weise mehrere Tage warm erhalten.

Der Abbrand in den Gruben ist erheblich geringer als in Oefen und pflegt bei grossen Blöcken weniger als 1 Hunderttheil vom Einsatzgewichte zu betragen.[1]) Dieser Umstand ist nicht minder von Vortheil als die Ersparung von Brennstoff.

In Fällen, wo der Betrieb nicht umfangreich genug ist, um eine regelmässige Entnahme der Blöcke, bevor Abkühlung eintreten kann, zu ermöglichen, hat man die Gruben bisweilen heizbar gemacht. Die Heizung wird in der Regel durch Gase bewirkt, welche in einer besonderen Verbrennungskammer zunächst durch vorgewärmte Luft verbrannt wurden, um die Blöcke vor der schädlichen Einwirkung der Stichflamme zu schützen. Die Verbrennungsgase kann man im oberen Theile der Grube eintreten lassen, um sie durch einen Kanal unten nach den zum Erhitzen der Luft dienenden Wärmespeichern abzuführen. Die Gruben werden hierdurch zu unterirdischen Wärmeöfen mit senkrechter Achse. Man pflegt sie, um die Einrichtung der ganzen Anlage zu vereinfachen, geräumig genug zu machen, dass jede Grube mehrere Blöcke zugleich aufnehmen kann.[2])

1) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 777.

2) Einiges Nähere über solche heizbare Gruben: „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 530; 1890, Seite 18; 1891, Taf. XIX.

4. Beispiele der Verarbeitung des Schweiss- und Flusseisens.

a) Darstellung des Gärbstahles.

Der durch Frischen erzeugte Schweissstahl (Frischfeuerstahl, Puddelstahl) ist, wie alles Schweisseisen, nicht immer gleichartig in seiner Beschaffenheit und mehr oder minder von Schlacke durchsetzt. Dass auch der rohe Cementstahl den Fehler einer ungleichartigen Beschaffenheit, eines abweichenden Kohlenstoffgehaltes an verschiedenen Stellen des nämlichen Stabes, zu besitzen pflege, wurde schon bei der Besprechung seiner Eigenthümlichkeiten erwähnt.

Eine Verbesserung der Eigenschaften dieser Stahlsorten ist möglich, wenn sie dem schon in allgemeinen Zügen geschilderten, für alles Schweisseisen anwendbaren Verarbeitungsverfahren unterzogen werden, d. h. wenn man sie auf dünne Querschnitte ausstreckt, die gestreckten Stäbe zusammenschweisst, abermals ausstreckt und unter Umständen dieses Verfahren nochmals wiederholt. Das Verfahren stammt aus Steiermark[1]), wurde dann in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts durch Crawley in England eingeführt, und der auf diese Weise dargestellte Stahl blieb viele Jahrzehnte hindurch der vorzüglichste zur Darstellung von Werkzeugen, Federn und anderen Gegenständen, bis man durch Erfindung der Tiegelstahldarstellung ein Mittel erhielt, einen noch gleichmässigeren, dabei vollständig schlackenfreien und ungeschweissten Stahl zu gewinnen. Der Umstand aber, dass der Tiegelstahl, wie aller Flussstahl, etwas schwieriger verarbeitbar, insbesondere schwieriger schweissbar ist als jener Schweissstahl, erklärt es, dass er trotz seiner Vorzüge bislang nicht im Stande war, ihn vollständig zu verdrängen. Insbesondere wird noch in den österreichischen Alpenländern die Darstellung dieses veredelten Schweissstahles betrieben. Man benutzt als Material den Rohstahl vom Frischfeuerbetriebe und verwendet den fertigen Stahl zur Anfertigung von Sensen, Sicheln, Messern, Federn, gröberen Werkzeugen u. a. m.

Das Packet, durch dessen Zusammenschweissen und Ausrecken der Stahl hergestellt wird, heisst eine Garbe; das Verfahren der Veredlung des Stahles in dieser Weise wird Gärben genannt, und der fertige Stahl hat demnach den Namen Gärbstahl erhalten.[2])

Das Verfahren im Ganzen ist ziemlich einfach, wenn auch von der dabei angewendeten Umsicht und Sorgfalt sehr wesentlich die Beschaffenheit des fertigen Stahles abhängt. Man streckt zunächst den Rohstahl unter dem Hammer zu Stäben von 8—15 mm Stärke bei etwa 50 mm Breite und wirft diese noch rothglühend in Wasser, um sie nachher leichter zerschlagen zu können. Aus vier bis acht Lagen solcher in entsprechend kürzere Stücke zerbrochenen Stäbe bildet man eine Garbe, gewöhnlich im Gewichte von etwa 15 kg, bringt sie mit Hülfe einer Zange in das mit Holzkohlen geheizte

1) Jars, Metallurgische Reisen, Band I, Seite 371.

2) In England pflegt man den Stahl Shear steel zu nennen, da er ursprünglich vielfach zur Herstellung grosser, bei der Tuchanfertigung früher benutzter Scheeren Verwendung fand.

Schweissfeuer, um sie hier unter Beachtung aller der Vorsichtsmaassregeln, welche das Erhitzen und Schweissen des Stahles erheischt, auf Schweisstemperatur zu erhitzen, schweisst sie unter einem Hammer zusammen und streckt sie unter wiederholter Erhitzung zu den fertigen Stäben aus.

Für Darstellung zweimal gegärbten Stahles biegt man die solcherart erhaltenen Stäbe in der Mitte zusammen, schweisst sie und streckt sie abermals aus; seltener bildet man eine vollständig neue Garbe aus den zerbrochenen Stäben von dem ersten Gärben.[1])

b) Darstellung des Grobeisens.

Man versteht unter Grobeisen die stärkeren Eisensorten mit quadratischem, rechteckigem, kreisrundem, seltener sechs- oder achteckigem Querschnitte, welche aus Packeten oder Blöcken in einer Hitze hergestellt werden. Eine bestimmte, allgemein gültige Grenze in den Abmessungen zwischen Grobeisen und Feineisen giebt es nicht; maassgebend ist in der Regel der Umstand, dass Grobeisen aus einem einmaligen Walzverfahren hervorgeht.

Zu den Packeten des Schweisseisens benutzt man theils Rohschienen, theils Alteisen und Abfälle. Das Gewicht eines Packetes muss, wie auch bei Darstellung aller anderen Eisensorten, gleich sein dem Gewichte des fertigen Stabes nebst dem Abbrande und dem Gewichte der abfallenden Enden. Die zu packetirenden Stäbe werden in Stücke von der entsprechenden Länge zerschnitten (gewöhnlich 450 — 600 mm) und dann derartig zusammengelegt, dass die Fugen gegen einander versetzt sind und die Zwischenräume möglichst klein ausfallen. Die Form der einzelnen zu packetirenden Stücke muss für ihre Anordnung maassgebend sein, und eine gewisse Uebung und Umsicht ist für eine gute Packetirung unerlässlich.

Sollte das Packet wegen der ungünstigen Form der packetirten Stücke zum Auseinanderfallen geneigt sein, so bindet man es mit Bindedraht zusammen.

Das Schweissen des Packetes pflegt in Flachkalibern vorgenommen zu werden, worauf es gewöhnlich in Spitzbogenkalibern weiter gewalzt wird. Man lässt es durch mehrere derartige Kaliber hindurchgehen, bevor es in die Fertigkaliber gelangt.

Rundeisen wird gewöhnlich in Spitzbogenkalibern fortschreitend bis auf den vorletzten Querschnitt gestreckt; dann erhält es seine Vollendung in einem einzigen Rundkaliber (Seite 766), durch welches es zwei Mal unter Drehung um 90 Grad hindurchgeführt wird. Auch Quadrateisen, dessen Endkaliber sich von den Spitzbogenkalibern nur durch die weniger stark gewölbte Form der Seitenflächen unterscheidet, wird in dieser Weise gewalzt. Flacheisen wird, nachdem das Packet in Spitzbogenkalibern vorgewalzt worden ist, in geschlossenen Kalibern der Vollendwalzen fertig gestreckt, dabei ausgebreitet und nach jedem Durchgange um 180 Grad gedreht. Die Einrichtung der Flacheisenkaliber ist im Wesentlichen die nämliche wie bei den linksseitig be-

1) Einiges Nähere hierüber: „Stahl und Eisen" 1889, Seite 488.

findlichen Walzen des auf Seite 736 (Fig. 195) abgebildeten Rohschienenwalzwerkes.

Bei der Verarbeitung des Flusseisens fällt das Packetiren weg, und die gewärmten Blöcke werden sofort ausgewalzt. Steht ein Blockwalzwerk zur Verfügung, so werden die hier verdichteten Blöcke durchgetheilt und nun erst fertig ausgestreckt.

c) Darstellung des Feineisens und Walzdrahtes.

Man stellt diese Eisensorten aus Knüppeln dar, d. h. Stäben von kreisrundem oder quadratischem Querschnitte, welche durch Auswalzen eines Blockes oder Packetes und Durchtheilen des entstehenden längeren Stabes gewonnen waren. Sie werden dann auf's neue erhitzt. Feineisen hat die nämlichen Querschnittsformen wie das Grobeisen, nur in entsprechend geringeren Abmessungen; Walzdraht nennt man die schwächsten Sorten des durch Walzen hergestellten Rundeisens, deren Durchmesser 3 bis 5 Millimeter beträgt. Man benutzt ihn theils unmittelbar für die mannigfachsten Zwecke, theils auch zur Herstellung des gezogenen noch feineren Drahtes, einer Arbeit, deren Besprechung nicht mehr in das Gebiet der Eisenhüttenkunde fällt, sondern der mechanischen Technologie angehört.

Da die Eisenstäbe um so rascher abkühlen und demnach das Auswalzen um so stärker beschleunigt werden muss, je dünner ihr Querschnitt ist, sind für die Feineisendarstellung rasch laufende Dreiwalzwerke erforderlich. Für die feineren Rundeisensorten pflegt man drei bis sechs Walzgerüste zu kuppeln, so dass ein und derselbe Stab, nachdem er in den Vorwalzen rasch auf eine bedeutende Länge gestreckt und dann umgebogen war, nunmehr schlangenartig durch mehrere Walzgerüste gleichzeitig hindurcheilt. Man streckt in Spitzbogen- oder Quadratkalibern, zwischen denen man zur Beschleunigung der Arbeit Ovalkaliber (Seite 764) einschaltet, und giebt erst, wie bei Darstellung gröberen Rundeisens, in einem Rundkaliber die Vollendung.

Da die Arbeit des Drahtziehens kostspieliger ist als die des Walzens, ist es vortheilhaft, Walzdraht von möglichst geringem Durchmesser herzustellen. Erhebliche Fortschritte sind in dieser Beziehung während der letzten Jahrzehnte gemacht, und insbesondere sind die Drahtwalzwerke zu grosser Vollkommenheit ausgebildet worden. Es kommt hierbei nicht allein darauf an, dass das Walzwerk rasch strecke, d. h. mit grosser Umfangsgeschwindigkeit laufe, sondern es sind auch Vorrichtungen erforderlich, um das Einführen des zwischen den Walzen herauskommenden Endes des glühenden Stabes in das folgende Kaliber in möglichst kurzer Zeit und mit möglichster Genauigkeit zu ermöglichen; zugleich ist zu berücksichtigen, dass der Draht, um fernerhin gestreckt zu werden, eine Drehung um 90 Grad erleiden muss, ehe er in ein neues Kaliber eintritt. Häufig benutzt man Führungen, welche den Draht bei seinem Herauskommen aufnehmen; zur noch grösseren Erleichterung des Hinüberleitens hat man auch wohl parallele, hinter einander aufgestellte Walzstrecken angeordnet, so dass der Draht von einer zur andern hinübergeht. Jenes Wenden des Drahtes um 90 Grad aber lässt sich ersparen, wenn man abwechselnd Walzen mit

wagerechten und senkrechten Drehungsachsen anordnet, zwischen welchen der Draht der Reihe nach hindurchgeht. Mehrfach ist dieser Grundsatz bei der Einrichtung von Drahtwalzwerken zur Anwendung gelangt. Hinsichtlich der Einrichtung der verschiedenen Drahtwalzwerke im Besondern muss auf die gegebene Literatur verwiesen werden.

Der aus dem letzten Kaliber herauskommende Walzdraht wird auf einem Haspel zu einem Ringe aufgewickelt und in dieser Form in den Handel gebracht oder der Drahtzieherei übergeben.

d) Darstellung des Bauwerkeisens.

Man versteht hierunter alles solches Walzeisen, welches zur Herstellung eiserner Brücken und anderer grösserer Bauwerke aus Eisen Verwendung findet.[1]) Ausser den Eisensorten mit einfachen Querschnitten, deren Herstellung im Allgemeinen schon unter b) und c) besprochen wurde, gehören demnach hierher Winkeleisen, Trägereisen von verschiedenen Querschnittsformen, auch Bleche (für genietete Träger und andere Bautheile), deren Anfertigung jedoch unten besondere Erläuterung finden wird, und Nieteisen (für Niete). Damit solches Eisen widerstandsfähig gegen die oft heftigen Erschütterungen sei, denen die Bauwerke ausgesetzt sind, muss es ein hohes Maass von Zähigkeit bei angemessener Festigkeit besitzen. Vom Bauwerkschweisseisen verlangt man in der Regel eine Zugfestigkeit von 33 bis 36 kg in der Walzrichtung, vom Bauwerkflusseisen eine Zugfestigkeit von 37 bis 45 kg.[2])

Bis gegen Ende der siebziger Jahre bildete Schweisseisen das vorzugsweise benutzte Material für Bauwerke; Flusseisen gelangte nur vereinzelt zur Anwendung. Manche Misserfolge bei Benutzung des letzteren hatten Misstrauen erweckt. Erst durch Einführung der basischen Verfahren (Thomas- und basisches Martinverfahren) erhielt man die Möglichkeit, ein Erzeugniss zu gewinnen, welches, durch hohe Zähigkeit ausgezeichnet, sich als weniger empfindlich gegen zufällige Beeinflussungen seiner Eigenschaften durch äussere Umstände erwies und daher grössere Sicherheit gegen unvorhergesehene Unfälle bot, als das früher dargestellte Flusseisen. Seit jener Zeit ist von Jahr zu Jahr das Schweisseisen auf diesem Gebiete in immer zunehmendem Umfange durch Flusseisen ersetzt worden, und die Verwendung des erstern ist in der jetzigen Zeit bereits eher als Ausnahme denn als Regel zu betrachten.

Das für Bauwerke benutzte Flusseisen enthält in der Regel

Kohlenstoff	0,08 bis 0,15	Hunderttheile,
Mangan	0,40 „ 0,60	„
Silicium	höchstens 0,02	„
Phosphor	„ 0,08	„

Doch müssen in jedem einzelnen Falle der besondere Zweck, dem

1) Vorschriften für Lieferungen von Eisen und Stahl, aufgestellt vom Verein deutscher Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1893, Seite 20.

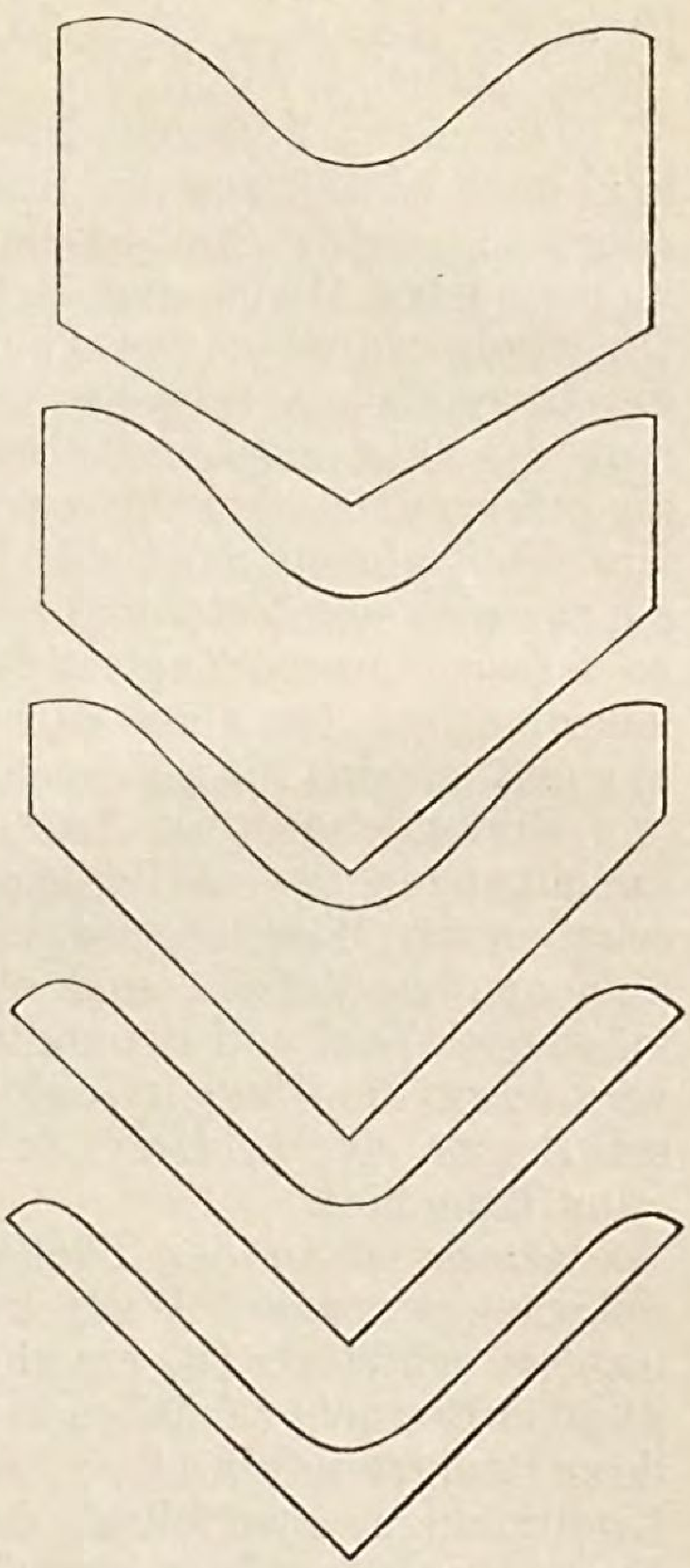
2) Hinsichtlich der Ansprüche und Prüfungsverfahren im Einzelnen möge auf die genannte Schrift verwiesen werden. Auch „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 707; 1892, Seite 593; 1893, Seite 275, enthält beachtenswerthe Mittheilungen über diesen Gegenstand.

das Eisen dienen soll, und die Ansprüche, die man an sein Verhalten stellt, berücksichtigt werden.

Schweisseisen wird, wie gewöhnlich, aus Packeten gewalzt, Flusseisen aus Blöcken, meistens von quadratischem Querschnitt.

Die in Deutschland übliche Anordnung der Kaliber für Winkeleisen ist durch Fig. 323 veranschaulicht. Den Schweisseisenpacketen, welche für diesen Zweck bestimmt sind, giebt man gern oben und unten eine Deckplatte aus doppelt geschweistem Eisen (z. B. Blechabfällen); die Oberfläche wird dadurch sauberer und das Eisen geeigneter, die Herstellung von Nietlöchern, ohne Beschädigung zu erleiden, zu ertragen. Man walzt in einer oder auch in zwei Hitzen aus.

Fig. 323.



Für Darstellung von Doppelt-T-Eisen (I) aus geschweisstem Material giebt man den Packeten schon eine Andeutung des späteren Querschnitts. Die Ecken der Packete, welche beim Walzen die stärkste Beanspruchung zu erleiden haben, werden aus doppelt geschweisstem Eisen hergestellt, die übrigen Theile aus Rohschienen und Abfällen. In den Kalibern, sowohl bei Verarbeitung von Schweisseisen als von Flusseisen, liegt der mittlere Steg wagerecht und die Flügel stehen demnach senkrecht (H). Je grösser die Breite der letzteren ist, desto grösser ist die Schwierigkeit der Herstellung. Kleinere Sorten dieses Eisens walzt man in Dreiwalzwerken, für die schwereren bedient man sich gewöhnlich eines Kehrwalzwerkes.

e) Darstellung der Eisenbahnschienen.

Bis gegen die Mitte der sechziger Jahre dieses Jahrhunderts benutzte man allgemein Schweisseisen zur Herstellung der Eisenbahnschienen. Ziemlich regelmässig bestand der Kopf der Schiene aus Puddelstahl oder Feinkorneisen, der Fuss aus Sehneeisen. Durch geeignetes Packetiren, Schweissen und Auswalzen wurden die verschiedenen Eisensorten bei der Herstellung der Schienen mit einander verbunden. Später vertauschte man den Puddelstahl bisweilen mit Bessemerstahl, und solche Schienen mit sehnigem Fusse und Stahlkopf wurden noch in der Mitte der siebziger Jahre ziemlich häufig gefertigt.

Eine aus Schweisseisen gefertigte Schiene aber besteht, wie jeder aus einem Packete hervorgehende Eisenstab, aus zahlreichen, neben

und auf einander liegenden, durch Schweissung verbundenen Streifen. Unter der Einwirkung der darüber hinrollenden Räder lösen sich allmählich die Schweissstellen, die Schiene fängt an aufzusplittern und wird unbrauchbar, ehe noch die eigentliche Abnutzung des Kopfes ein Auswechseln erforderlich gemacht haben würde.

Es ist klar, dass dieser Uebelstand vermieden, die Schiene haltbarer werden muss, wenn sie aus ungeschweisstem Materiale, aus Flusseisen, gefertigt wird.

Die ersten Versuche, Schienen aus Flusseisen anzuwenden, wurden bald nach Einführung des Bessemerverfahrens im Anfange der sechziger Jahre angestellt. Man beschränkte ihre Anwendung anfänglich auf die vielbenutzten Gleise der Bahnhöfe und auf starke Steigungen. Zwei Umstände waren es vornehmlich, die sich einer raschen Ausbreitung der Anwendung entgegensetzten. Der eine war die grössere Kostspieligkeit des Bessemermetalls in damaliger Zeit, der andere der Mangel an Erfahrungen über die zweckmässigste chemische Zusammensetzung. Um die Schienen möglichst widerstandsfähig zu machen, glaubte man ein zugleich sehr festes und hartes Material, wirklichen Stahl, verwenden zu müssen, dessen Zugfestigkeit mitunter 75 kg auf 1 qmm oder noch mehr betrug. Bei einer so bedeutenden Festigkeit kann die Zähigkeit nur gering sein; die Schienen waren zu spröde, um lange haltbar zu sein.

Erst nachdem im Laufe der siebziger Jahre durch die Vervollkommnungen in den Bessemer- und Walzwerken die Möglichkeit geschaffen war, Bessemereisenschienen ebenso billig als früher geschweisste Schienen zu liefern, und als dann die Erfahrungen über die zweckmässigste Wahl und Behandlung des Materiales immer reicher wurden, verdrängte die Flusseisenschiene ziemlich rasch die geschweisste, und seit Beginn der achtziger Jahre hat die Anfertigung der letzteren fast ganz aufgehört.

Gross ist in der That der Unterschied in der Dauer der beiden Schienengattungen. Wenn zwar ein vollständig zuverlässiger Vergleich insofern schwierig ist, als hierbei die Anzahl und Grösse der einzelnen Züge in Betracht zu ziehen sein würde, welche über die Schiene während ihrer Benutzung hinrollten, so ergiebt sich doch aus den vorliegenden Ermittelungen zweifellos, dass auf einer und derselben Bahnstrecke die Dauer der Flusseisenschiene ein Vielfaches von derjenigen der Eisenbahnschiene beträgt. So z. B. mussten von den seit 1869 verlegten Schweisseisenschienen der Eisenbahngesellschaft Grand Central Belge bis zum Schlusse des Jahres 1882 41 Hunderttheile ausgewechselt werden; von den seit dem nämlichen Zeitabschnitte gelegten Flusseisenschienen dagegen betrug die auszuwechselnde Zahl nur 0,42 Hunderttheile. Das sind Erfolge des Eisenhüttenbetriebes, welche eine grosse volkswirthschaftliche Bedeutung besitzen.

Jede Eisenbahnschiene soll zäh genug sein, um den erheblichen und stets sich wiederholenden Erschütterungen, welchen sie unterworfen ist, andauernd Widerstand zu leisten, zugleich aber hart genug, um unter dem Gewichte der darüber hinrollenden Züge keine bleibenden Formveränderungen zu erleiden.[1]) Die Zugfestigkeit der Eisenbahn-

1) Geringere Bedeutung besitzt der Härtegrad des Schienenmateriales gegenüber der stattfindenden Abnutzung. Beobachtungen im Betriebe haben nicht selten

schienen soll nach den vom Verein deutscher Eisenhüttenleute aufgestellten Vorschriften mindestens 45 kg auf 1 qmm betragen; zur Prüfung der Zähigkeit dienen Schlagproben, welche der Querschnittsform der Schiene entsprechend bemessen werden.[1])

Diesen Ansprüchen gemäss pflegt man die Zusammensetzung des Materiales so zu regeln, dass der

Kohlenstoffgehalt	0,25 bis 0,35	Hunderttheile,
Mangangehalt	0,35 „ 0,55	„
Siliciumgehalt	höchstens 0,20	„
Phosphorgehalt	„ 0,10	„

beträgt. Einen hohen Siliciumgehalt pflegt man für bedenklich zu halten[2]), obgleich nicht in Abrede zu stellen ist, dass mitunter auch Schienen mit 0,40 Hunderttheilen Silicium sich gut bewährt haben, wenn ihr Kohlenstoffgehalt niedrig war. Ein höherer Mangangehalt, als angegeben, kommt vor (0,7 bis 1,0 Hunderttheile, mitunter noch etwas darüber) und ist den vorliegenden Beobachtungen zufolge nicht gerade von Nachtheil, sofern der Phosphorgehalt niedrig ist, vertheuert aber die Herstellungskosten.

Beispiele der durchschnittlichen Zusammensetzung gut bewährter Schienen.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel
Schienen auf schweizer Bahnen (Mittelwerthe aus 5 Analysen), nach Tetmajer („Stahl und Eisen“ 1884, Seite 610)	0,35	0,48	0,05	0,07	0,06
Schienen der Pennsylvaniabahn, nach Dudley (Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. IX, p. 321)	0,33	0,49	0,06	0,08	n. best.
Deutsche, in den siebziger Jahren gefertigte Schienen, nach Braune (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, Seite 241)	0,25	0,40	0,18	0,09	0,05
Schienen von finnländischen Bahnen (Mittelwerthe aus 8 Analysen), nach Tetmajer (wie oben).	0,35	0,93	0,05	0,05	0,13

Der hohe Mangangehalt der Schienen auf finnländischen Bahnen ist, wie man sieht, zum Theil durch den hohen Schwefelgehalt bedingt, welcher in einzelnen Schienen mehr als 0,20 Hunderttheile betrug. Ohne den reichlich bemessenen Mangangehalt würde das Material nicht walzbar gewesen sein, ohne Risse zu bekommen.

Für Darstellung des Schienenmaterials werden sämmtliche Verfahren der Flusseisenerzeugung mit Ausnahme des Tiegelstahlschmelzens benutzt.

In Rücksicht auf den Umstand, dass grössere Blöcke mehr Gewähr als kleinere für die Güte der aus ihnen erfolgenden Schienen bieten,

ergeben, dass nach mehrjähriger Benutzung unter übrigens gleichen Verhältnissen weichere Schienen weniger als härtere abgenutzt worden waren (Glasers Annalen, Band XIV, Seite 149).

1) Näheres in der auf Seite 1026 genannten Schrift.

2) Vergleiche „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 611.

giesst man sie für mindestens doppelte Schienenlängen, nicht selten für vier- bis sechsfache, bisweilen für achtfache Schienenlängen. Die vorgeschriebene Länge einer einzelnen Schiene pflegt etwa 9 m zu sein, das Gewicht für je 1 m Länge etwa 30 kg. Für die Berechnung des erforderlichen Blockgewichtes muss der entstehende Abbrand und das Gewicht der Abfälle (Enden) hinzugerechnet werden. Blöcke für doppelte Schienenlänge wiegen demnach etwa 600 kg, für vierfache Schienenlänge 1156 kg, für achtfache Schienenlänge 2250 kg.

Die Art und Weise der ferneren Verarbeitung hängt nun von den vorhandenen Einrichtungen ab. Blöcke für mehr als vier Schienenlängen werden regelmässig, nachdem sie in Ausgleichgruben oder Wärmöfen ihre gleichmässige Erhitzung erlangt haben, auf einem Blockwalzwerke vorgestreckt, dann auf einer Scheere durchgetheilt und nunmehr erst dem eigentlichen Schienenwalzwerke überwiesen. Mitunter ist das Fertigwalzen auf letzterem möglich, ohne dass eine nochmalige Erhitzung des durchgetheilten Blockes nothwendig wird; in anderen Fällen, wo die Arbeit weniger rasch von statten geht, müssen die Blöcke nach ihrer Theilung zunächst in einen Wärmofen gebracht werden, ehe sie zum Schienenwalzwerke gelangen.

Auch Blöcke von vierfacher Länge werden mitunter erst auf dem Blockwalzwerke gestreckt und dann getheilt, wenn das Schienenwalzwerk nicht geeignet ist, sie in dieser Länge auszuwalzen; Blöcke für doppelte oder dreifache Länge dagegen werden in der Regel ohne Weiteres, sobald sie die Gruben oder Wärmöfen verlassen, dem Schienenwalzwerke übergeben, wo dann das Auswalzen in einer einzigen Hitze erfolgt.

Als Schienenwalzwerk dient ein Dreiwalzwerk oder ein Kehrwalzwerk. Dreiwalzwerke sind am häufigsten in Benutzung. Sie pflegen aus zwei Walzgerüsten mit Vor- und Fertigwalzen zu bestehen; die Walzen haben gewöhnlich 600 bis 650 mm Durchmesser und machen 100 bis 120 Umdrehungen in der Minute; das Schwungrad wiegt 30 bis 50 t. Den Walzen der Kehrwalzwerke pflegt man etwa 700 mm Durchmesser zu geben.[1]) Das Auswalzen zur fertigen Schiene erfolgt in 11 bis 24 Durchgängen, je nachdem der Block auf dem Blockwalzwerke bereits vorgestreckt war oder nicht und man auf doppelte oder noch mehrfache Schienenlänge walzt. In letzterem Falle pflegt der zum Schienenwalzwerk gelangende Block stärker zu sein und daher einer grösseren Zahl Durchgänge zu bedürfen.

Von dem Schienenwalzwerke gelangt die noch glühende Schiene sofort zu Kreissägen, welche die Enden abschneiden und die Schienen in einfache Längen zertheilen. In der Regel sind so viele Kreissägeblätter vorhanden und in entsprechendem Abstande von einander angebracht, dass sämmtliche erforderliche Schnitte mit einem Male ausgeführt werden können. Für Schienen von doppelter Länge sind demnach drei Sägen erforderlich, zwei zum Abschneiden der Enden und eine zum Durchtheilen; für Schienen von dreifacher Länge müssen vier Sägen vorhanden sein, u. s. f.

1) Eine Abbildung der Schienenwalzen eines Kehrwalzwerkes ist in Fig. 229 und 230 (Seite 766) gegeben.

Die Bewegung der Blöcke von den Gruben und Wärmöfen nach dem Blockwalzwerke, von hier nach der Scheere, alsdann nach dem Schienenwalzwerke, den Sägen und schliesslich nach dem Warmlager, wo die Schienen der Abkühlung überlassen werden, erfolgt in allen grösseren Anlagen auf Rollentischen, deren Rollen von einer Dampfmaschine aus angetrieben werden.[1]) Hierdurch ist sowohl die Zeitdauer für die erforderliche Bewegung als der Aufwand an menschlicher Arbeit auf ein thunlichst geringes Maass beschränkt, während die Erzeugungsfähigkeit der Werke sehr beträchtlich ist. Dreiwalzwerke mit zwei Walzgerüsten, welche Blöcke für doppelte Schienenlänge, ohne dass sie im Blockwalzwerke vorgestreckt wurden, verarbeiten, können täglich unter günstigen Verhältnissen etwa 350 t oder etwa 1300 Stück Schienen liefern; werden grössere Blöcke zunächst im Blockwalzwerke vorgestreckt und dann in drei- oder vierfacher Länge ausgewalzt, kann die Erzeugung unter Umständen bis auf den doppelten Betrag steigen. Eine besonders grosse Erzeugungsfähigkeit besitzen manche nordamerikanische Eisenwerke; aber nicht überall sind die Absatzverhältnisse so günstig, um eine so hohe Erzeugung zu ermöglichen, auch wenn die Anlage dafür vorhanden ist.

Die fertig gewalzten Schienen werden, nachdem sie abgekühlt sind, nachgesehen, auf Richtpressen gerade gerichtet, an den Enden gefräst, gebohrt u. s. w. Man nennt diese Arbeiten, deren Besprechung nicht mehr in das Gebiet der Eisenhüttenkunde gehört, das Fertigmachen oder Adjustiren der Schienen.

Der Abbrand und der Brennstoffverbrauch beim Wärmen der Blöcke entspricht den oben bei Besprechung der Wärmöfen und Heizgruben gegebenen Mittheilungen. Der Brennstoffaufwand zum Heizen der Dampfkessel beträgt gewöhnlich 120 bis 150 kg Steinkohlen für 1 t fertiger Schienen, die Löhne für das Glühen und Walzen 2,0 bis 2,5 Mark, die Löhne für das Fertigmachen und Nebenarbeiten etwa ebensoviel. Die Gesammtkosten für die Umwandlung des rohen Blockes in die zum Verlegen fertige Schiene betragen auf deutschen Werken ungefähr 20 Mark für 1 t Schienen.

f) Darstellung der Bleche.

Auch für Bleche wird von Jahr zu Jahr Flusseisen in immer grösserem Umfange an Stelle des früher ausschliesslich benutzten Schweisseisens verwendet. Die Ansprüche, welche man an das Verhalten der Bleche stellt, sind denen ähnlich, welche an alles Bauwerkeisen gestellt werden. Ein hohes Maass von Zähigkeit ist erforderlich, und besondere Wichtigkeit besitzt diese Eigenschaft, wenn das Blech für den Dampfkesselbau Verwendung finden soll, oder bei entsprechend dünner Querschnittsstärke zur Verarbeitung im kalten Zustande durch Biegen, Pressen, Drücken und ähnliche Arbeiten bestimmt ist. Schweisseisenbleche müssen daher aus phosphorarmem Roheisen gefertigt, und das

1) Beschreibungen einiger neuerer Anlagen für Eisenbahnschienendarstellung findet der Leser in Glasers Annalen, Band XVIII, Seite 132; „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 667; 1889, Seite 1; 1891, Seite 29 und 33.

Verfahren muss so geleitet werden, dass der Schlackengehalt des Erzeugnisses möglichst gering ausfalle; für Darstellung feiner Bleche wurden bis vor wenigen Jahren nicht selten noch Frischfeuer in Gegenden betrieben, wo jede sonstige Veranlassung dazu fehlte. Jetzt sind auch diese Feuer meistens erloschen, und an die Stelle des Frischfeuereisens ist Flusseisen getreten. Für Darstellung des Materiales zu Flusseisenblechen eignen sich vornehmlich die basischen Verfahren, und erst seit ihrer Einführung haben die Bestrebungen, Flusseisenblechen allgemeinere Verwendung zu verschaffen, durchgreifenden Erfolg gehabt. Die früher geschilderten Eigenthümlichkeiten jener Verfahren erklären zur Genüge diese Thatsache.

Man unterscheidet Grobbleche und Feinbleche. Erstere, welche eine Stärke von 5 bis 35 mm besitzen können, werden für Dampfkesselanfertigung, Schiffsbau, Brückenbau und andere bauliche Zwecke benutzt; falls sie Formveränderungen durch Biegen, Aufbördeln u. s. w. unterzogen werden sollen, pflegt man sie zuvor auf Rothgluth zu erhitzen. Feinbleche müssen in gewöhnlicher Temperatur Formveränderungen durch die schon oben angedeuteten Arbeiten ertragen.

Grobbleche aus Schweisseisen fertigt man aus Packeten, welche aus kreuzweise über einander gelegten Rohschienen gebildet werden. Das im Schweissofen erhitzte Packet wird, um thunlichst von Schlacke gereinigt zu werden, unter einem Dampfhammer von etwa 10 t Gewicht geschweisst und zu einem flachen, vierseitig prismatischen Blocke ausgeschmiedet. Dieses Schmiedestück heisst eine Bramme. Man erhitzt sie abermals und walzt sie nun im Blechwalzwerke aus. Für schwere Bleche benutzt man Kehrwalzwerke, für weniger schwere meistens gewöhnliche Zweiwalzwerke mit Gewichtsausgleichung der Oberwalze (Fig. 212 und 213 auf Seite 748), aus einem oder auch zwei Walzgerüsten bestehend. In dem letzteren Falle dient das eine Walzgerüst zum Vor-, das andere zum Fertigwalzen. Dreiwalzwerke, deren Mittelwalze kleiner im Durchmesser ist, als die Ober- und Unterwalze (Lauthsches Walzwerk, Seite 751), haben bisweilen Anwendung gefunden.

Die vorgeschriebene Länge und Breite der Blechtafel wird erzielt, indem man die letztere bald der Länge, bald der Quere nach zwischen den Walzen hindurchgehen lässt, so dass Streckung in beiden Richtungen stattfindet. Man erreicht hierdurch den anderen Zweck, eine allzu einseitige Ausbildung der Fasern nach der einen Richtung zu vermeiden, mit welcher eine übermässige Schwächung der Festigkeit in der Richtung gegen die Faser Hand in Hand gehen würde. Die Fasern des fertigen Bleches erstrecken sich in derjenigen Richtung, in welcher das Blech zuletzt gewalzt wurde; dass immerhin die Festigkeit des Bleches in dieser Richtung grösser sei, als in der entgegengesetzten, wurde schon früher erwähnt.

Um zu verhüten, dass der Hammerschlag, welcher auf den Blechtafeln sich bildet, eingewalzt werde und die Reinheit der Oberfläche beeinträchtige, entfernt man ihn vor jedem neuen Durchgange durch Abkehren mit einem Besen.

Schliesslich wird die noch glühende Blechtafel auf einer eisernen Richtplatte mit Holzhämmern geebnet.

Grobbleche aus Flusseisen werden ohne Weiteres aus dem Blocke

gewalzt, dem man beim Giessen häufig schon die Form einer dicken Platte giebt, um die Zahl der erforderlichen Durchgänge zu verringern.

In grossen Werken wird das Blechwalzwerk durch ein Blockwalzwerk ergänzt. Wie bei der Schienenanfertigung giesst man alsdann die Blöcke in solchen Abmessungen, dass mehrere Tafeln daraus gefertigt werden, streckt sie im Blockwalzwerke vor, theilt sie und überweist sie nunmehr dem Blechwalzwerke.[1])

Feinbleche aus Schweisseisen werden in der Regel aus Flachstäben gefertigt, welche entweder aus einem Packete oder auch, wo noch Frischfeuerbetrieb für diesen Zweck unterhalten wird, aus der Luppe des Frischfeuers gewalzt oder geschmiedet werden. Die Stäbe zertheilt man in Stücke von solcher Länge, dass jedes eine Blechtafel giebt. Diese Stücke, gewöhnlich Stürze genannt[2]), werden im Schweissofen erhitzt, dann im Blechwalzwerke zunächst in der Längenrichtung gestreckt, bis ihre Länge gleich der Breite des herzustellenden Bleches ist, hierauf in entgegengesetzter Richtung quer unter öfters wiederholtem Erhitzen bis zur hellen Rothgluth (nicht Schweisstemperatur) zu der vorgeschriebenen Stärke ausgewalzt. Um die Arbeit zu beschleunigen und einer starken Abkühlung der dünnen Bleche durch die Walzen entgegenzuwirken, legt man eine grössere Zahl Tafeln auf einander, sobald ihre Querschnittsverdünnung ein gewisses Maass erreicht hat, und führt sie gemeinschaftlich zwischen den Walzen hindurch.

Man benutzt entweder ein Zweiwalzwerk mit einem oder zwei Walzgerüsten oder ein Lauthsches Dreiwalzwerk, welches besonders sich für diesen Zwek gut bewährt hat.

Schliesslich ist ein Ausglühen der beim Walzen hart gewordenen Bleche erforderlich. Man benutzt dazu Flammöfen mit hoher Feuerbrücke, stark schmauchender (reducirender) Flamme und wagerechtem Herde; sehr feine Bleche werden auch wohl in besonderen Gefässen geglüht. Bei diesem Ausglühen nehmen die Bleche schwarze Farbe an; man nennt sie deshalb, wenn sie in diesem Zustande ohne Weiteres in den Handel kommen, Schwarzbleche, zum Unterschiede von den Weissblechen, d. h. Feinbleche, welche zuvor einen Zinnüberzug erhalten haben.

Die Herstellung von Feinblechen aus Flusseisen ist dem beschriebenen Verfahren der Herstellung aus Schweisseisen sehr ähnlich. Aus dem Blocke werden zunächst flache Stäbe (Platinen) gewalzt, diese werden zerschnitten, auf's neue erhitzt und dem Feinblechwalzwerke übergeben. Wo ein Grobblechwalzwerk mit dem Feinblechwalzwerke verbunden ist, verwendet man mit Vortheil Grobbleche, welche wegen Schönheitsfehler unbenutzbar sind, um daraus Feinbleche zu erzeugen, nachdem die fehlerhafte Stelle durch Abschneiden des betreffenden Theils entfernt worden war.

Bei einem neueren, von Wittgenstein eingeführten Verfahren[3]) wird der gegossene Block zunächst in einem Universalwalzwerke (S. 770)

1) Beschreibung einer solchen Anlage in Nordamerika: „Stahl und Eisen" 1891, Seite 32; 1892, Seite 732.

2) Die aus solchen Stürzen gewalzten Feinbleche heissen daher in manchen Gegenden Sturzbleche.

3) Wittgensteinsches Feinblechwalzwerk: „Stahl und Eisen" 1892, Seite 999.

mit drei wagerechten Walzen zu einer Platte von 50 mm Stärke ausgewalzt; diese wird, während sie noch glühend ist, an den Kanten beschnitten, rasch nochmals gewärmt und nun zunächst in einem Lauthschen Dreiwalzwerke auf 5 mm Stärke gestreckt. Aus dem Lauthschen Walzwerke kommend rollt die Tafel sofort zu einer Gruppe von fünf unmittelbar hinter einander angeordneten Zweiwalzwerken, welche sie der Reihe nach durcheilt, um aus dem letzten in einer Stärke von 1,5 bis 2 mm bei 40 bis 50 m Länge herauszukommen. Die lange Tafel wird nun in Stücke von 14 bis 17 m Länge zertheilt, um dann auf einem letzten Walzwerke zu der verlangten Stärke fertig gewalzt zu werden. Der Hauptunterschied dieses Verfahrens im Vergleiche zu dem früher besprochenen liegt demnach in dem Umstande, dass die Bleche nicht in zahlreichen einzelnen Stücken, deren jedes beschnitten werden muss, gewalzt werden, sondern in einer langen Tafel, welche nur vor der letzten Vollendung getheilt wird. Die entstehenden Abfälle sind geringer, auch der Abbrand und Kohlenverbrauch zum Wärmen ist voraussichtlich niedriger; aber die Kosten der Anlage sind ganz beträchtlich höher.

g) Darstellung der Panzerplatten.

Man fertigt Panzerplatten in Stärkeabmessungen bis zu 400 mm und in Gewichten bis 60 t.[1]) Die meisten Panzer sind 200 bis 300 mm stark und 20 bis 30 t schwer. Sie sollen zäh genug sein, um unter der Wirkung der auftretenden Geschosse nicht zersplittert zu werden, zugleich aber auch hart genug, um das Durchdringen der Geschosse unmöglich zu machen. Die Aufgabe, beide Eigenschaften zu vereinigen, suchte man bis vor wenigen Jahren gewöhnlich in der Weise zu lösen, dass man die Vorderseite der Platte, welche von den Geschossen getroffen wird, aus hartem Flusseisen (Stahl), die Rückseite dagegen aus zähem Schweisseisen bestehen liess, welche beide Eisengattungen zu einem einzigen Stücke vereinigt und gemeinschaftlich ausgewalzt wurden. Solche Platten nannte man Verbund- oder Compoundplatten. Die Schweisseisenplatte wurde durch Zusammenschweissen mehrerer für sich gefertigter Bleche und Ausstrecken im Walzwerke dargestellt; die Verbindung mit dem Flusseisen geschah durch Aufgiessen des letzteren auf die glühend gemachte Schweisseisenplatte, nachdem diese in eine entsprechend vorgerichtete Form eingelegt oder senkrecht eingestellt worden war.[2]) Das Flusseisen pflegte 0,55 bis 0,90 Hunderttheile Kohlenstoff zu enthalten. Nach dem Erstarren des aufgegossenen Metalls wurde die Platte in einen Glühofen gebracht und dann im Walzwerke gestreckt.

Seitdem man die Eigenschaft eines Nickelgehaltes im Flusseisen erkannt hat, die Härte und Festigkeit zu erhöhen (Seite 302 und 658), und seitdem man ausserdem durch Harveys Verfahren der Cementirung (Seite 999) die Möglichkeit erlangte, die Platten auf der einen Seite stark zu härten, während sie auf der Rückseite ihren geringeren

1) Eine von Fr. Krupp in Chicago 1893 ausgestellte Platte wog 62,4 t und besass eine Länge von 8270 mm bei 3130 mm Breite.

2) Näheres über die Ausführung dieses Verfahrens auf verschiedenen Werken enthält die unter Literatur genannte Abhandlung Brinks.

Härtegrad und ihre ursprüngliche Zähigkeit beibehielten, haben die aus nickelhaltigem Flusseisen gefertigten und in der erwähnten Weise gehärteten Panzerplatten jene Verbundplatten ziemlich rasch verdrängt.

Einige Analysen solcher Panzer aus „Nickelstahl“ sind bereits auf Seite 659 mitgetheilt worden. Eine in meinem Laboratorium angestellte Untersuchung eines von einem amerikanischen Werke gelieferten Panzers ergab:

Kohlenstoff	Nickel	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel
0,28	3,21	n. best.	0,08	n. best.	0,03

Der Nickelgehalt beträgt demnach durchschnittlich etwa 3 Hunderttheile. Der Kohlenstoffgehalt muss grosse Unterschiede aufweisen, je nachdem die Probe von der cementirten Vorderseite oder von der Rückseite der Platte entnommen wurde oder die mittlere Zusammensetzung des ganzen Querschnitts darstellt. Da man die Platten, um möglichst zähes Material zu erhalten, aus thunlichst kohlenstoffarmem Eisen giesst, darf man annehmen, dass die bei zwei Untersuchungen gefundenen Kohlenstoffgehalte von 0,26 und 0,28 Hunderttheilen den mittleren Kohlenstoffgehalt darstellen.

Zur Bereitung des nickelhaltigen Flusseisens dient der Martinofen. Das Giessen und Wärmen des Blockes (der Platte) geschieht wie gewöhnlich.

Als Panzerplatten-Walzwerk dient ein Kehrwalzwerk mit starkem Rollentisch. Ein solches Walzwerk bei Fr. Krupp in Essen besitzt 4 m lange Walzen von 1,740 m Durchmesser; der höchste erreichbare Abstand der beiden Walzen von einander beträgt 1,3 m.[1])

5. Die Maschinen zur Zertheilung der Arbeitsstücke.

In Vorstehendem war mehrfach von einer Zertheilung der Arbeitsstücke die Rede. Rohschienen des Puddelverfahrens werden in kurze Stücke zerschnitten, um packetirt und geschweisst zu werden; grosse Flusseisenblöcke werden, nachdem sie in Blockwalzwerken vorgestreckt waren, in mehrere Stücke zertheilt, um dann erst weiter verarbeitet zu werden; von gewalzten Stäben und Blechen werden die Enden abgeschnitten, welche stets unvollständig ausgebildet sind; Schienen, die in mehrfachen Längen gewalzt worden waren, werden zu einfachen Längen getheilt, u. s. f.

Auch in kleinen Eisenwerken geschieht diese Arbeit durch Maschinen, welche bisweilen von der Betriebsmaschine des Walzwerkes selbst ihren Antrieb empfangen, in grösseren Anlagen dagegen von einer besonderen Dampfmaschine betrieben werden. Die Vorgänge hierbei sind rein mechanischer Natur; bei der Unentbehrlichkeit jener Maschinen auch für den eigentlichen Eisenhüttenbetrieb möge jedoch eine kurze Besprechung ihrer wichtigsten Formen hier folgen.

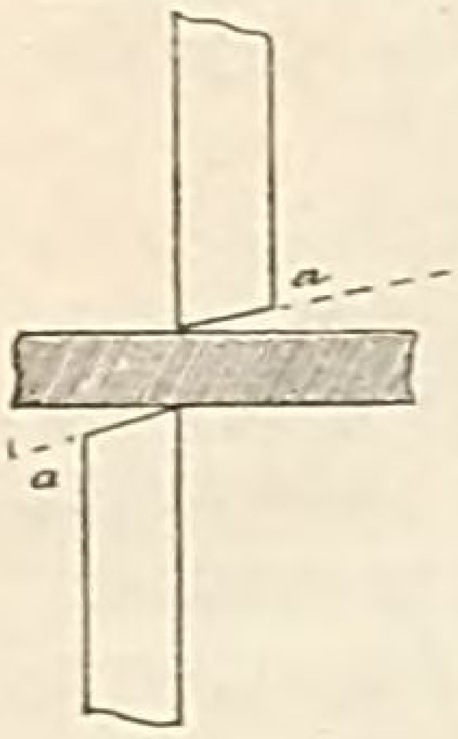
a) Hebelscheeren.

Die Scheeren gehören zu den ältesten aller Zertheilungsmaschinen. Ihre Wirkungsweise ist die nämliche wie diejenige der für die mannig-

1) Abbildung dieses Walzwerkes: „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 837.

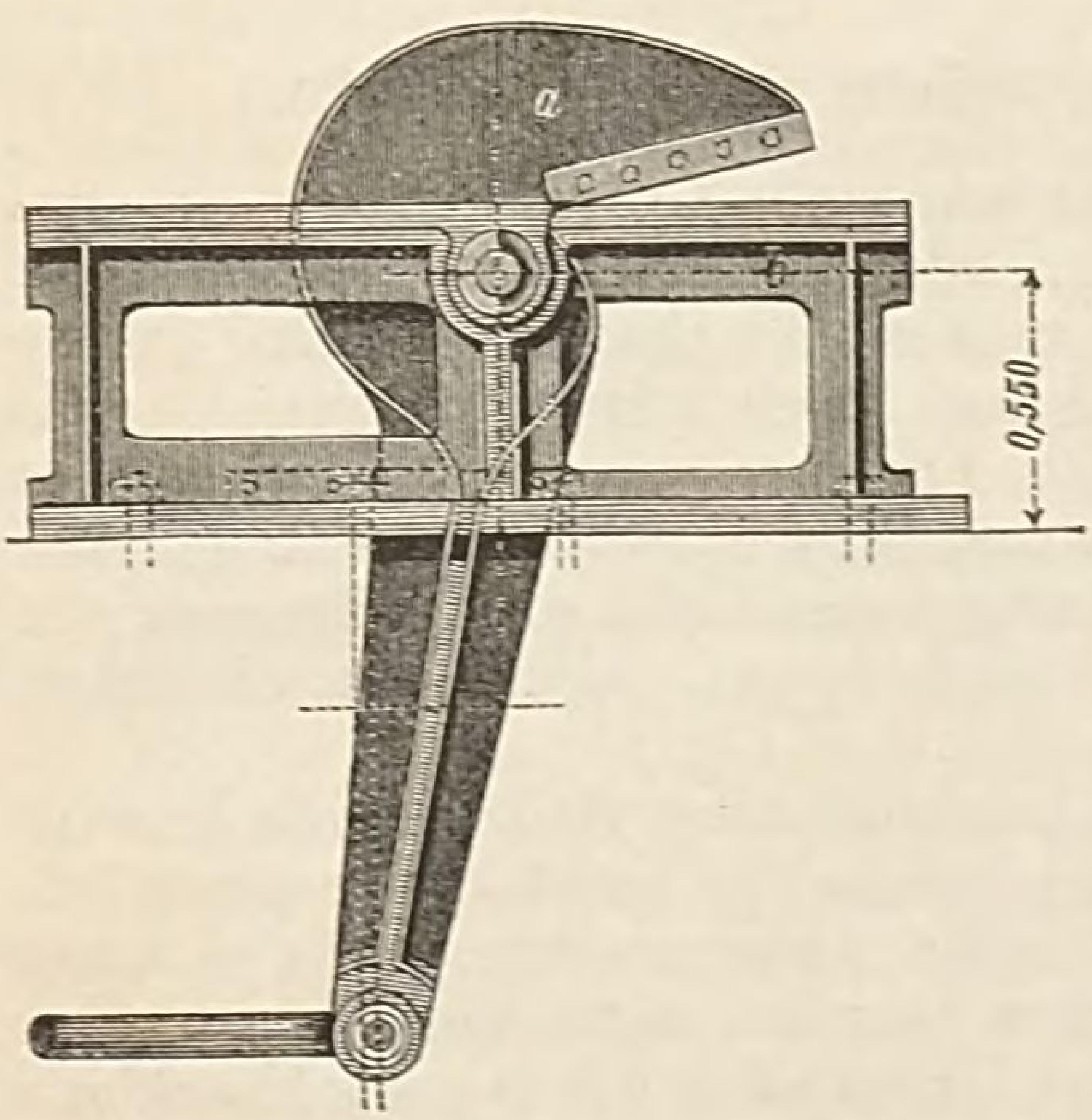
fachsten Zwecke täglich benutzten Handscheeren: eine aus Stahl gefertigte Schneide, gewöhnlich unter einem Winkel $\alpha = 75 - 85$ Grad (Fig. 324) angeschliffen, gleitet dicht an einer zweiten, ebenso angeschliffenen Schneide vorbei, dabei das dazwischen gebrachte Arbeitsstück zertheilend. Schliessen die Schneiden nicht dicht an einander an, sondern haben einigen Abstand, so wird das Arbeitsstück, statt zertrennt zu werden, um so leichter durch die niedergehende Schneide umgebogen, je dünner es ist, und eine Klemmung der Schneiden ist die Folge davon.

Fig. 324.



Eine übliche Anordnung solcher Hebelscheeren ist durch die Abbildung Fig. 325 in $^1/_{40}$ der wirklichen Grösse veranschaulicht. Von den beiden Schneiden, welche aus hartem Stahl gefertigt und zum Auswechseln eingerichtet sein müssen, ist die eine, die bewegliche, in einem kräftigen, um wagerechte Drehungszapfen schwingenden Gusseisenhebel *a*, die andere in dem Lagerstuhle *b* befestigt. Ein zweiter gegenüberstehender Lagerstuhl trägt den andern Zapfen des Hebels. Der Hebel der abgebildeten Scheere hat Winkelform und wird durch eine Schubstange bewegt; nicht minder häufig ist die Anwendung eines geradlinigen Hebels, dessen längerer wagerecht liegender Arm an seinem Ende auf einer excentrischen Scheibe aufruht und durch deren Drehung gehoben und gesenkt wird.

Fig. 325.



Der Drehungspunkt der beweglichen Schneide liegt bei der abgebildeten Scheere tiefer als die Oberkante der festliegenden, eine Einrichtung, welche ein allmählich verlaufendes Abtrennen auch beim Zertheilen dünner Arbeitsstücke zur Folge hat, andererseits aber ihr Herausdrücken aus dem geöffneten Scheerenmaule um so leichter herbeiführt, je grösser die Dicke ist. Bei den zum Zertheilen dickerer Arbeitsstücke bestimmten Scheeren legt man deshalb den Drehungspunkt etwas höher als die Oberkante der festen Schneide, so dass beide Schneiden in parallele Stellung kommen, schon ehe sie sich vollständig berühren.

Man pflegt diese Scheeren mit 30—60 Hüben in der Minute arbeiten zu lassen und für den Betrieb einer Arbeit von 2—6 Pferdestärken, abweichend nach der Stärke der zu zertheilenden Arbeitsstücke, zu bedürfen.

Zum Zertheilen von Rohschienen, zum Abschneiden der Enden an gewöhnlichem Handelseisen sind derartige Hebelscheeren ihrer einfachen Einrichtung halber ziemlich gebräuchlich; sie verlieren jedoch

um so mehr an Zweckmässigkeit, je breiter und stärker die zu zertheilenden Arbeitsstücke sind. Es erklärt sich dies leicht aus dem Umstande, dass einerseits die Kraftübertragung um so ungünstiger ausfällt und ein Herausdrücken des Arbeitsstückes aus dem Scheerenmaule um so leichter stattfinden muss, je weiter dieses geöffnet werden muss, um das Arbeitsstück einzulassen, während andererseits wieder das Verhältniss der Hebelarmlängen um so ungünstiger für die Leistung der Scheere wird, je weiter die Schnittstelle vom Drehungspunkte entfernt ist. Je dicker aber das Arbeitsstück ist und je näher dem Drehungspunkte das Schneiden stattfinden soll, desto weiter muss das Maul geöffnet werden; je breiter das Arbeitsstück ist, desto ungleichförmiger ist die Schnittwirkung.

Aus letzterem Grunde pflegt man mit der Länge der Schneiden selten über 0,50 m hinauszugehen, häufiger noch sind sie kürzer. Sollen breitere Arbeitsstücke, z. B. Bleche, mit Hülfe solcher Scheeren zerschnitten werden, so ist dieses nur durch mehrere auf einander folgende Schnitte zu bewirken, zwischen denen das Arbeitsstück jedesmal um die Schnittlänge weitergeschoben wird; eine solche Arbeit aber ist zeitraubend und liefert leicht fehlerhafte Schnitte.

b) Parallelscheeren.

Der soeben erwähnte Nachtheil eines veränderlichen Scheerwinkels und verschiedener Kraftwirkung an verschiedenen Stellen der Schneide fällt weg, wenn man die bewegliche Schneide, statt im Bogen mit Hülfe eines doppelarmigen Hebels, gradlinig mit Hülfe einer Druckstange sich gegen die festliegende Schneide bewegen lässt. Derartige Scheeren heissen Parallelscheeren oder, da die Schneide innerhalb einer rahmenartigen Führung sich bewegt, Rahmenscheeren. Sie gewähren ausser den soeben erwähnten Vortheilen noch die Möglichkeit, beliebig lange Schneiden anzuwenden, und sind deshalb zum Zertheilen breiter Arbeitsstücke, zumal von Blechen, fast ausnahmslos in Anwendung, werden aber mit entsprechend kürzeren Schneiden auch nicht selten zum Zertheilen von weniger breiten Gegenständen — Rohschienen, Flusseisenblöcke u. a. — benutzt.

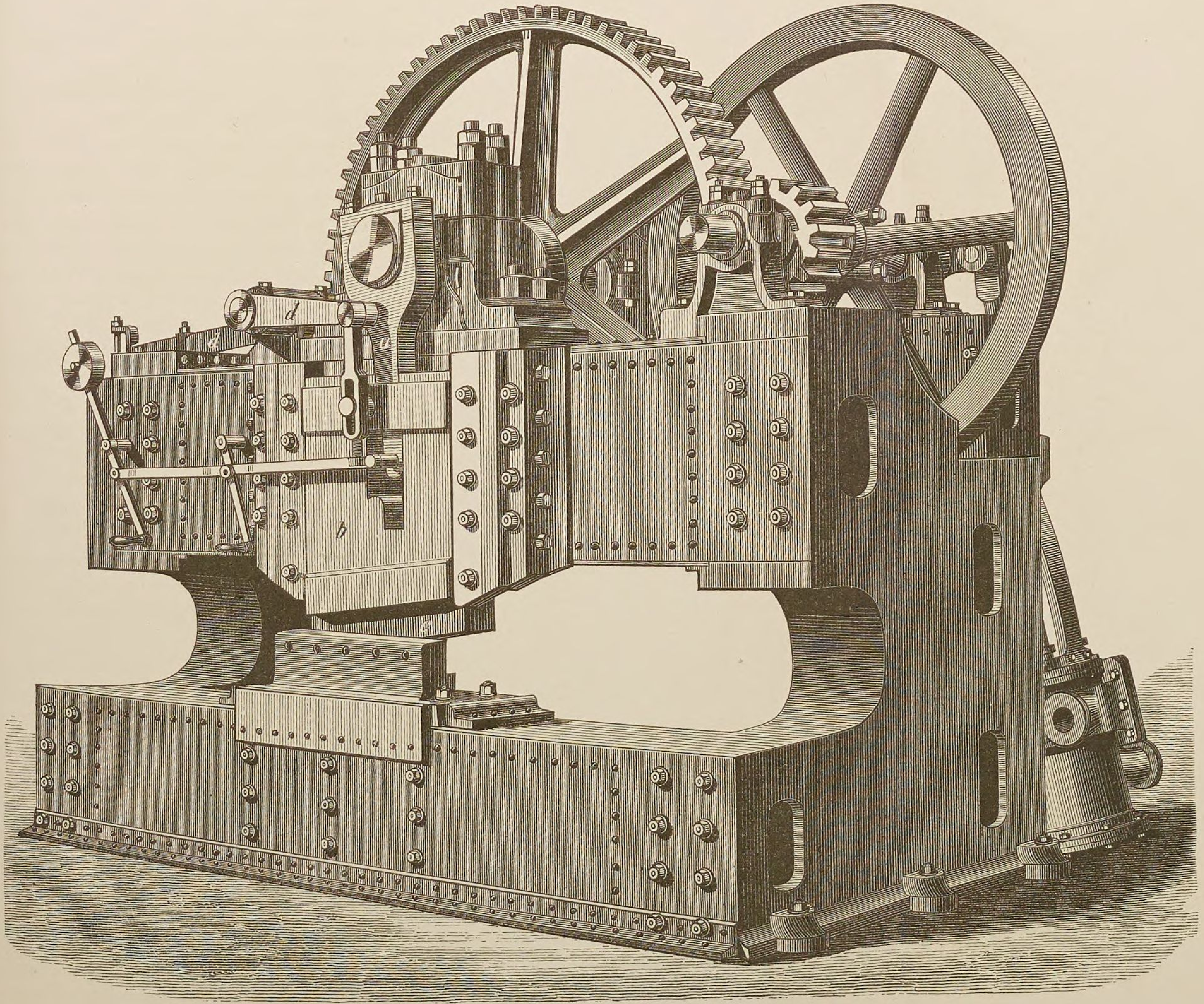
Die untere Schneide liegt auch bei diesen Scheeren fest und besitzt wagerechte Lage, die obere wird in der erwähnten Weise, also senkrecht, gegen die untere bewegt. Damit aber das zu zertheilende Arbeitsstück nicht mit einem Male in seiner ganzen Breite von den Schneiden erfasst werde — wodurch ein beträchtlicher Stoss erzeugt werden und ungenaue Schnittflächen entstehen würden —, giebt man der oberen Schneidkante eine Neigung von $3^1/_2$ — 7 Graden, so dass beim Niedergange der Schneide der Schnitt an der tiefsten Stelle beginnt und allmählich nach dem entgegengesetzten Ende hin verläuft. Die Bewegung der oberen Schneide erfolgt entweder von einer umlaufenden Welle aus durch Vermittelung eines Krummzapfens, und in diesem Falle dient ein Schwungrad auf jener Welle dazu, während des Leerganges die von der Betriebsmaschine geleistete Arbeit aufzuspeichern, oder durch Wasserdruck.

Eine grosse Scheere der ersteren Art, von der Friedrich-Wilhelmshütte zu Mülheim a. d. Ruhr in den siebziger Jahren gebaut, ist in Fig. 326 dargestellt. Sie ist mit einer eigenen Dampfmaschine versehen, deren Cylinder an der Rückseite des Ständers theilweise zu sehen ist. Durch ein Getriebepaar wird die Bewegung auf die Hauptwelle der Maschine übertragen, welche an ihrem vorderen Ende den zur Auf- und Abwärtsbewegung der Druckstange *a* dienenden Krummzapfen trägt. Die Druckstange bewegt sich innerhalb eines Schlitzes des senkrecht geführten Schiebers *b*, an dessen unterem Ende die Stahlschneide *c* befestigt ist; die Breite dieses Schlitzes ist reichlich doppelt so gross als die Breite der Druckstange, so dass die letztere mit Hülfe der an der Vorderseite des Gerüstes sichtbaren Querstange mit Handhebel und Gegengewicht leicht nach rechts oder links hinüber gedrückt werden kann. Die Unterkante des Schlitzes aber ist, wie die Abbildung erkennen lässt, an der rechten Seite tiefer als links; wird also die Druckstange nach rechts gedrückt (wie in der Abbildung), so findet sie in dem Schlitze ausreichenden Spielraum zum Auf- und Niedergehen, ohne dass der Schieber *b*, auch wenn er in seinem höchsten Stande sich befindet, dadurch beeinflusst wird; man kann also das zu zertheilende Arbeitsstück einschieben und in seine richtige Lage bringen, ohne dass auch bei ununterbrochenem Gange der Maschine ein vorzeitiger Schnitt zu befürchten ist. Drückt man aber die Stange *a* nach links, so setzt sie sich auf die dort im Schlitze angebrachte Erhöhung, der Schieber wird niedergedrückt und der Schnitt erfolgt. Da jedoch die Druckstange den Schieber nur abwärts, nicht auch aufwärts bewegt, so ist eine besondere Vorrichtung erforderlich, um ihn nach beendigtem Schnitte in die Anfangsstellung zurückzuführen. Diesem Zwecke dient der doppelarmige Hebel *d d*. Mit dem einen Ende erfasst er vermittelst eines Bügels den Schieber, das andere, in der Abbildung nicht sichtbare Ende ist mit einem Gegengewicht belastet. Beim Niedergange des Schiebers steigt das Gegengewicht empor; sobald die Druckstange den Schieber loslässt, wird er durch das Gegengewicht gehoben.

Die Länge der Schneiden der abgebildeten Maschine beträgt 940 mm, der Abstand der beiden hohlen Gusseisenständer, welche die seitliche Begrenzung der Maschine bilden, von einander 3,4 m. Die Form der Ständer ermöglicht leicht ein Vorschieben des Arbeitsstückes in der Schnittrichtung, wenn ihre Breite grösser sein sollte als die Länge der Schneiden; im Uebrigen baut man derartige Scheeren mit Schneiden bis zu 3 m Länge.

Parallelscheeren mit Bewegung durch Wasserdruck haben in neuerer Zeit besonders häufig zum Zertheilen der grossen, auf dem Blockwalzwerke vorgestreckten Flusseisenblöcke Verwendung gefunden. Der Schieber, welcher die bewegliche Schneide trägt, ist durch die Druckstange unmittelbar mit dem Kolben des Wasserdruckcylinders verbunden, welcher von einem Drucksammler oder einer Druckpumpe aus sein Druckwasser empfängt. Die Rückwärtsbewegung kann durch ein Gegengewicht, wie bei den Scheeren mit Kurbelbewegung, herbeigeführt werden, sobald dem Druckwasser Auslass gegeben ist. Man hat solche Scheeren mit senkrechter und auch solche mit wage-

Fig. 326.



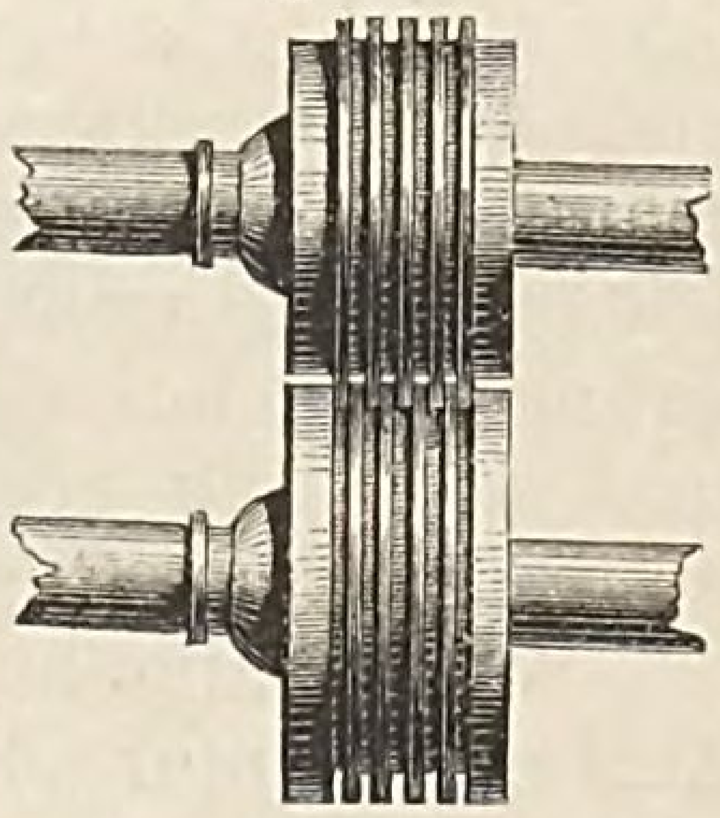
rechter Bewegung des (in letzterem Falle senkrecht stehenden) Scheerenblattes gebaut.[1])

c) Kreisscheeren.

Zwei kreisrunde Scheerenblätter, deren Schneidkanten nur wenig über einander greifen, werden um ihre Achsen in entgegengesetzter Richtung durch Vermittlung von Getrieben mit grosser Geschwindigkeit gedreht. Das vor die Schneiden gebrachte Arbeitsstück wird demnach von ihnen erfasst und — ähnlich wie beim Walzen — während des Schneidens selbstthätig vorwärts bewegt. Da die Schneiden endlos sind, ist auch die Länge des Schnitts unbegrenzt, und hierin liegt ein Hauptvorzug der Kreisscheeren; aber der Durchmesser der Scheerenblätter muss, damit das Arbeitsstück ergriffen werde, mindestens fünfzigmal so gross sein als die Stärke des letzteren, und aus diesem Grunde eignen sich diese Maschinen weniger gut zum Zertheilen dickerer als sehr dünner Arbeitsstücke (Schwarzbleche). Sie werden häufiger in den Werkstätten für Metallverarbeitung als für Eisendarstellung benutzt.[2])

Ordnet man auf jeder der beiden Wellen mehrere Kreisscheerenblätter von bestimmter Stärke derartig an, dass sie genau in einander greifen (Fig. 327), so entsteht ein Eisenschneidwerk oder Eisenspaltwerk, welches früher häufig in den Eisenwalzwerken benutzt wurde, um einen gewalzten, noch glühenden Flachstab bei einem einmaligen Durchgange sofort in zahlreiche schmale Stäbe, gewöhnlich Quadratstäbe, zu zertheilen. Infolge der Vervollkommnung der Walzwerke sind die Spaltwerke jetzt seltener geworden.

Fig. 327.



d) Kreissägen.

Obwohl die Hebel- und Parallelscheeren sehr geeignete Werkzeuge zur Zertheilung von Gegenständen mit einfach gestalteten Querschnitten sind, eignen sie sich doch weniger gut, wenn Erzeugnisse mit stark gegliederten Querschnitten — Träger, Eisenbahnschienen u. a. m. — zertheilt werden sollen. Diese würden leicht theilweise zerdrückt werden, ehe das Abtrennen erfolgt; in keinem Falle würden sich genaue Schnittflächen erzielen lassen.

In solchen Fällen tritt gewöhnlich die Kreissäge an Stelle der Scheeren; auch da, wo die Scheere gut brauchbar sein würde, bedient man sich doch nicht selten der Kreissäge, zumal wenn die zu zertheilenden Gegenstände verhältnissmässig dick sind (Flusseisenblöcke). Mit der Dicke eines Querschnitts wächst bei Benutzung einer Scheere der erforderliche Kraftaufwand, bei Benutzung einer Säge nur die erforderliche Zeitdauer; wichtiger noch ist in manchen Fällen der Um-

1) Abbildungen solcher Scheeren mit Wasserdruckbewegung: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 725; Iron Age, vol LII, p. 465.

2) Näheres über Kreisscheeren: A. Ledebur, Die Verarbeitung der Metalle auf mechanischem Wege, Braunschweig 1877, Seite 579.

stand, dass beim Abscheeren die Trennungsfläche um so weniger eben ausfällt, je dicker das Arbeitsstück ist[1]), während beim Sägen kein Unterschied obwaltet. Dagegen besitzt die Säge den Nachtheil, dass durch die Zerspanung ein Metallverlust entsteht, dessen Betrag von der Dicke des Arbeitsstückes und der Dicke des Sägeblattes abhängt.

Die Kreissäge besteht aus einer kreisrunden, am Umfange verzahnten Eisen- oder Stahlscheibe, welche zwischen zwei kleineren, zum Festhalten dienenden Gusseisenscheiben auf einer wagerechten Welle befestigt ist und von dieser rasche Drehung empfängt. Währenddem wird entweder das Arbeitsstück gegen die Säge oder diese gegen das Arbeitsstück allmählich vorgeschoben; auf diese Weise nimmt jeder einzelne Zahn Spänchen von dem Arbeitsstücke ab, und es entsteht eine sich mehr und mehr vertiefende Furche, welche die Abtrennung bewirkt. Wie erwähnt, findet durch die Zerspanung ein Materialverlust statt, welcher von der Breite des Sägeblattes abhängig ist; ausserdem wächst mit der Breite des letzteren der erforderliche Arbeitsverbrauch. Wenn aus diesen Gründen die Anwendung eines möglichst dünnen Sägeblattes zweckmässig sein würde, so muss doch andererseits dessen Stärke mit seinem Durchmesser im Einklange stehen, damit nicht ein Verbiegen der Zähne oder des ganzen Blattes eintrete, und der Durchmesser muss wiederum abhängig sein von den Querschnittsabmessungen des zu zertheilenden Arbeitsstückes. Gewöhnlich pflegt der Durchmesser der neuen Sägen 0,8—1,5 m zu sein; ausnahmsweise hat man Sägeblätter mit einem Durchmesser bis zu 2 m in Anwendung gebracht. Die Stärke jener gewöhnlichen Sägeblätter beträgt in der Regel 3—6 mm.

Wo es angeht, zertheilt man die Arbeitsstücke im noch glühenden Zustande, unmittelbar nachdem sie das letzte Kaliber des Walzwerkes verlassen haben. Der Widerstand gegen die Zertheilung und der dafür erforderliche Arbeitsverbrauch ist im heissen Zustande geringer, die Zeitdauer des Abschneidens kürzer. Nur für Nacharbeiten (das Fertigmachen der Eisenbahnschienen u. s. w.) findet mitunter eine Zertheilung im kalten Zustande durch die Kreissäge statt. Die Abmessungen des Sägeblattes, die Zahnform und die Geschwindigkeit der Drehung müssen hiervon abhängig sein.

Heisssägen können, da sie einen geringeren Widerstand finden, dem Verbiegen also weniger ausgesetzt sind, grössere Durchmesser erhalten, als Kaltsägen. Um die Wegnahme starker Späne (durch raschen Vorschub beim Sägen) zu ermöglichen, haben die Zähne eine verhältnissmässig beträchtliche Höhe von der Wurzel zur Spitze (7 bis 20 mm), und ihr Abstand von einander — die Zahntheilung — ist bedeutend (14—30 mm), damit in der Zahnlücke der erforderliche Raum für die entstehenden Späne bleibe. Man giebt diesen Heisssägen 800—2000 Umläufe in der Minute, so dass ihre Umfangsgeschwindigkeit in der Secunde 60—80 m beträgt.

Kaltsägen sind kleiner im Durchmesser, ihre Dicke ist im Verhältniss zum Durchmesser beträchtlicher; die Zähne sind erheblich

1) Erklärung hierfür: Ledebur, Verarbeitung der Metalle auf mechanischem Wege, Seite 557.

niedriger und stehen näher bei einander, da der Vorschub weit langsamer als bei den Heisssägen von statten geht und die Späne demzufolge kleiner ausfallen. Die Geschwindigkeit dieser Kaltsägen ist erheblich geringer als die der Heisssägen und beträgt oft nicht mehr als 0,5 m in der Secunde.

Wird der Vorschub beim Sägen durch das Arbeitsstück ausgeführt, so pflegt es auf einem in wagerechten Führungen gleitenden Schlitten (Schieber) gelagert und durch Vorsprünge auf der der Säge entgegengesetzten Seite festgehalten zu werden, so dass es genau rechtwinklig gegen die Ebene des Sägeblattes liegt; mit Hülfe eines Hebels, eines Getriebes mit Zahnstange oder irgend einer andern einfachen Vorrichtung wird alsdann, sobald das Arbeitsstück auf den Schlitten gelegt worden ist, dieser gegen das Sägeblatt vorgeschoben.

Soll die Säge selbst den Vorschub ausführen, so wird ihre Welle gewöhnlich in zwei pendelartig beweglichen, entsprechend langen Hängestücken gelagert, welche durch Vermittelung eines Getriebes mit Zahnkranzbogen oder in ähnlicher Weise gegen das festliegende Arbeitsstück bewegt werden. Die Sägewelle trägt auch hier die für die Bewegungsübertragung dienende Riemenscheibe; die zugehörige Antriebsriemenscheibe sitzt auf einer Welle, deren Achse mit der Schwingungsachse der erwähnten Pendel zusammenfallen muss, damit der Abstand der Riemenscheiben von einander ungeändert bleibe.

Dass man für das Zerschneiden von Eisenbahnschienen, Trägern u. s. w. häufig zwei oder mehr Sägeblätter auf gemeinschaftlicher Welle in verstellbarem Abstande von einander anbringt, um die erforderlichen Parallelschnitte gleichzeitig ausführen zu können, wurde schon früher erwähnt.

Literatur.

a) Grössere Werke.

S. Jordan, Album du cours de métallurgie. Paris 1875. Pl. LXXVIII bis LXXXIII (Schweiss- und Glühöfen), Pl. CV und CXVIII (Scheeren), pl. CVIII (Kreissägen), pl. CXI (Glühöfen für Bleche.)

E. F. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. 3. Band, Leipzig 1892, S. 690—718 (Schweiss- und Wärmöfen), 797—807 (Scheeren und Sägen).

b) Abhandlungen.

Ueber Schweissöfen, Glühöfen u. s. w.

Zusammenstellung der Betriebsverhältnisse von Puddel- und Schweissöfen. Von dem technischen Verein für Eisenhüttenwesen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1872, S. 673.

C. W. Bildt, Zwei Schweissofenconstructionen. „Stahl und Eisen" 1891, S. 558.

J. Gjers, Ueber das Walzen von Stahlgussblöcken mit ihrer eigenen Hitze vermittelst der Anwendung der Durchweichungsgrube. „Stahl und Eisen" 1882, S. 496; 1884, S. 494.

Zu Gjers Durchweichungsgruben. „Stahl und Eisen" 1882, S. 551.

Ueber Anfertigung von Eisenbahnschienen.

F. Braune, Die Fabrikation der Stahlschienen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, S. 241.

G. Lincke, Bemerkungen zu der Abhandlung von F. Braune über Fabrikation der Stahlschienen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, S. 430.

Ueber die Dauer der Eisen- und Stahlschienen. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1877, S. 341.

Vergleichsweise Dauer der Eisen- und Stahlschienen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1883, S. 225.

Vergleich von Eisenbahnschienen aus Stahl mit solchen aus Eisen. „Stahl und Eisen" 1883, S. 488.

Ch. B. Dudley, The chemical composition and physical properties of steel rails. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VII, p. 172.

Ch. B. Dudley, Does the wearing power of steel rails increase with the hardness of the steel? Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VII, p. 202.

Ch. B. Dudley, The wearing capacity of steel rails in relation to their chemical composition and physical properties. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. IX, p. 321.

Th. Egleston, The chemical and physical properties of steel rails. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VII, p. 371.

Discussion on steel rails. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. IX, p. 529.

M. L. Gruner, Sur la nature de l'acier le plus convenable pour les rails. Annales des mines, série 7, tome XX (1881), p. 171; in deutscher Bearbeitung im Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben u. s. w. Bd. XXX, S. 168.

G. J. Snelus, Ueber die chemische Zusammensetzung und die Prüfung der Stahlschienen. „Stahl und Eisen" 1883, S. 82 und 171.

Escalle, Ueber Abnutzung der Stahlschienen. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. XIV, S. 149.

L. Tetmajer, Zur Frage der Qualitätsbestimmung von Flussstahlschienen. „Stahl und Eisen" 1884, S. 608.

Schienenwalzenzugsmaschinen in Dowlais. „Stahl und Eisen" 1885, S. 141 (aus Engineering).

Schienenwalzwerk der Edgar Thomson Steel Works. „Stahl und Eisen" 1886, S. 667.

Betriebseinrichtungen zum Fertigstellen von Schienen. Glasers Annalen, Bd. IX, S. 53 (aus Engineering).

C. P. Sandberg, Ueber die Lieferungs- und Abnahmebedingungen von Schienen in Europa. Beilage zu „Stahl und Eisen" 1882, Heft 1.

H. Wedding, Ueber die Bedingungen der deutschen Eisenbahnverwaltungen für die Lieferung von Schienen, Radreifen und Achsen aus Flusseisen vom Standpunkte der Fabrikation. Glasers Annalen, Bd. X, S. 63, 149, 154.

Wöhler, Discussion zu dem Vortrage von H. Wedding über die Bedingungen der deutschen Eisenbahnverwaltungen für die Lieferung von Schienen u. s. w. Glasers Annalen, Bd. X, S. 137, 153, 158.

Ueber Anfertigung sonstigen Handelseisens.

W. Meyer, Das Walzen von Doppelt-T-Trägern. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1878, S. 319.

H. Wild, Die Anfertigung von Universaleisen auf dem Neunkirchener Eisenwerke. Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880; Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1880, S. 209.

Das neue Blechwalzwerk auf dem Low Moor Iron Works. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 19.

Ueber die Fabrikation von Qualitätsblechen. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 26.

Alfred Trappen, Das Wittgensteinsche Feinblechwalzwerk. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 999.

Brix, Ueber den jetzigen Stand der Panzerplattenfabrikation. Glasers Annalen, Bd. X, S. 13.

J. Brink, Ueber Eisen- und Compound-Panzerplatten. „Stahl und Eisen 1885, S. 62, 131, 184.

F. Lynwood Garrison, The development of American armourplate. Iron, vol. XL, p. 28.

Neues amerikanisches Drahtwalzwerk. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 55.

H. Meinhardt, Ueber die Drahtfabrikation in Westfalen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1881, S. 79.

F. H. Daniels, Rod rolling mills and their development in America. Iron Age, vol. LII, p. 248; daraus in „Stahl und Eisen“ 1894, S. 154.

Sachverzeichniss.

A.

Abhitze 100.
Abstreifmeissel bei Walzwerken 760.
Aetzprobe 705.
Alteisen 4.
Aluminium, Verbrennungswärme 48.
„ , Legirungen des —s mit Eisen 306.
„ , Einfluss auf die Graphitbildung 273; auf den Wasserstoffgehalt des Eisens 312; auf die Schmiedbarkeit 648; auf die Schweissbarkeit 654; auf die Festigkeitseigenschaften 672.
Aluminium als Zusatz bei der Flusseisendarstellung 847.
Ambos 712.
Anblasen der Hochöfen 478.
Anlassen des Stahles, chemischer Vorgang dabei 279; Verfahren 661.
Anlasshärte 662.
Anlauffarben 254. 662.
Anthrazite 63.
„ als Brennstoff für den Hochofenbetrieb 551.
Antimon und Eisen 305.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit 646; auf die Schweissbarkeit 652.
Appolts Verkokungsofen 79.
Arsen in Erzen 221.
„ und Eisen 305.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit 646; auf die Schweissbarkeit 652; auf die Festigkeitseigenschaften 674.
Aufwerfhämmer 714.
Ausblasen der Hochöfen 489.
Ausgleichgruben 1020.
Ausglühen, Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften 638.
Auslaugen der Erze 243.

B.

Bäckeröfen 76.
Backkohlen 61.
Baryum und Eisen 310.
Basische feuerfeste Materialien 165.
Basische Verfahren, siehe Thomasverfahren, Martinverfahren.
Bauers Verkokungsofen 81.
Bauwerkeisen, Darstellung 1026.
Bauxitziegel 163.
Beizbrüchigkeit 686.
Belgiens Eisenhüttenbetrieb 26.
Beschickung des Hochofens, Berechnung 534.
„ , Berechnung nach Mřazek 536.
„ , „ „ Platz 546.
Bessemermetall 942.
Bessemerschlacke 944.
Bessemerverfahren, Allgemeines 887.
„ , Zusammensetzung des Roheisens beim — 912.
„ , kalter und heisser Gang beim — 921.
„ , Zusätze beim — 922.
„ , chemischer und physikalischer Verlauf 922.
„ , Schlacken beim — 932.
„ , Gase beim — 937.
„ , Betriebsergebnisse 940.
Bicherouxofen 152.
Biedermanns und Harveys Ofen 149.
Birne für das Windfrischen, Allgemeines 894.
„ , Rauminhalt und Abmessungen 902.
„ , Ausfütterung 904.
„ , Zahl und Anordnung 906.
Blackband 197.
Blaubrüchigkeit 649.
Blauerz 194.
Blauöfen 348. 358.
Bleche, Darstellung 1031.
Blei und Eisen 308.
„ im Hochofen 379. 593.
Blindkaliber 768.
Blockwalzwerke 748. 751.
„ , Holleys — 754.
„ , Walzentisch der — 757.
Boëtiusofen 151.
Bohnerze 199.
Brammen 1032.
Brandeisen 255.
Brauneisenerze 197.
Braunkohle 58.
„ beim Hochofenbetriebe 553.
Braunstein 207.
„ beim Tiegelstahlschmelzen 874.
Brechkapsel (bei Walzwerken) 742.
Brennstoffe 53.

Brennstoffe, gasförmige 96.
Brucheisen 4. 325.
Buderus Gasfang 407.
Bulls Verfahren der Eisendarstellung 864.
Burgers Ventil für Winderhitzer 451.
Büttgenbachs Hochofen 374.

C.

Calcium und Eisen 310.
Carbid, siehe Karbid.
Cementirofen 993.
Cementkohle, siehe Karbidkohle.
Cementstahl, Darstellung 992.
„ , Eigenschaften 1002.
Chabotte, siehe Schabotte.
Chamotte, siehe Schamotte.
Chenots Verfahren der Eisendarstellung 790.
Chrom, Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt [270.
„ und Eisen 302.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit 648; auf die Schweissbarkeit 653; auf die Härte 658; auf die Härtbarkeit 660; auf die Festigkeitseigenschaften 670.
Chromeisenerz als feuerfestes Material 165.
Chromstahl 302. 658.
„ , Darstellung 874.
Compensatoren 455.
Converter, siehe Birnen.
Coppées Verkokungsofen 84.
Cowper-Winderhitzer 446.
Cupolöfen, siehe Kupolöfen.
Cyan, Bildung in Hochöfen 500.
Cyankalium in Hochöfen 596.
Cyanstickstofftitan 308. 595.
Cylindergebläse, siehe Gebläse.

D.

Daelens Universalwalzwerk 771.
Damaststahl 877.
Dämpfen der Hochöfen 489.
Dampfhämmer 719.
Darbys Gasfang 399.
Darbys Kohlungsverfahren 893. 920.
Dehnbarkeit 643.
Deul 782.
Deutschlands Eisenhüttenbetrieb 20.
Diabas als Zuschlag 211.
Dinassteine 162.
Directe Eisendarstellung 781. 863.
Dissociation 35.
Dolomit als feuerfestes Material 166.
„ als Zuschlag 208.
Doppelpuddelöfen 813.
Dowsongas 105.
Drehöfen 154.
„ zum Puddeln 832.
„ „ Martinschmelzen 954.
Dreiwalzwerke 732.
Duowalzwerke, siehe Zweiwalzwerke.
Durchweichungsgruben, siehe Ausgleichgruben.
Düse bei Hochöfen 459.
Düsenstock bei Hochöfen 456.

E.

Eisen, Verbrennungswärme 47.
„ , reines — 247.
„ , Reduction des —s 264.
„ , Schmelztemperatur des —s 282.
Eisenbahnschienen, Darstellung 1027.
„ , Zusammensetzung 1029.
Eisenerzeugung der Erde 14.
Eisenglanz 202.
Eisenglimmer 202.
Eisenmangan, Begriff 4.
„ , Eigenschaften 345.
„ , Analysen 346.
„ , Darstellung 532.
„ als Zusatz bei der Flusseisendarstellung 893.
Eisenoxyde, Bildungswärme 48.
„ als feuerfeste Materialien 165.
„ im Eisen 248; siehe auch Sauerstoff.
„ , Reduction der — 264.
Eisenrahm 202.
Eisenschneidwerk 1039.
Eisenschwamm 780.
„ Darstellung 790.
Elastizität 665.
Entgasung der Brennstoffe 103.
Entphosphorung des Roheisens 628.
Erze 192.
„ , Verarbeitung auf schmiedbares Eisen 781. 863.
Erzquetschen 214.
Erzwäschen 216.
Esse bei Flammöfen 133.
„ „ Siemensöfen 147.
„ für Gichtgasfeuerungen 416.

F.

Faber du Faurs Gasfang 397.
Faulbrüchiges Eisen 649.
Feinbleche 1032.
Feineisen, Darstellung 1025.
Feinen, Begriff 257.
„ , Ausführung des —s 626.
Feinfeuer 627.
Feinfeuerschlacken 628.
Feinöfen 627.
Feren der Bessemerbirnen 898.
Ferromangan, siehe Eisenmangan.
Ferrosilicium, siehe Siliciumeisen.
Fertigwalzen 761.
Festigkeitseigenschaften, abhängig von den Kohlenstoffformen 283; vom Siliciumgehalte 288; vom Phosphorgehalte 290; vom Schwefelgehalte 295.
Festigkeitseigenschaften des Roheisens 330.
„ des schmiedbaren Eisens, Einfluss des Herstellungsverfahrens 666; der chemischen Zusammensetzung 668; der mechanischen Bearbeitung 675; des Ablöschens 680; des Ausglühens 683;

des Beizens, der Grösse und Form des Querschnitts 688; der stattgehabten Erschütterungen 689; der Temperatur 691.
Festigkeitseigenschaften, Prüfung der — [702.
Fettkohlen 60.
Feuer 124.
Feuerfeste Materialien 160.
Fillafers Röstofen 242.
Flammöfen 128.
„ mit Rostfeuerung 130.
„ „ Unterwind 134.
„ „ Gasfeuerung 134.
„ „ beweglichem Herde 154.
„ , Wirkungsgrad der — 157.
„ zum Roheisenschmelzen 604.
„ „ Frischen, siehe Puddeln.
Flusseisen, Begriff 5. 639.
„ , Eigenthümlichkeiten des —s 838.
„ , Hohlräume im — 840.
„ , Gasblasen im — 843.
Flusseisendarstellung aus Erzen 863.
„ in Kupolöfen 865.
„ durch sonstige Verfahren, siehe Tiegelstahldarstellung, Bessemerverfahren, Thomasverfahren, Martinverfahren.
Flusseisenverarbeitung 1014.
Flussstahl 6; siehe auch Tiegelstahl, Bessemermetall, Martinmetall, Thomasmetall.
Formen, siehe Windformen, Kühlungen, Hochofen, Feren.
Formgussdarstellung 858.
François-Rexroths Verkokungsofen 83.
Frankreichs Eisenhüttenbetrieb 23.
Frischeisen (im Hochofen) 518.
Frischen, Begriff 257.
Frischfeuer, Begriff 791.
„ , Einrichtung 794.
„ , Betrieb 795.
„ , chemischer Verlauf des Schmelzens im — 800.
Frischfeuereisen 803.
Frischfeuerschlacken 804.
Fritz' Walzwerk 753.

G.

Gaargang beim Hochofen 516.
„ beim Frischen 797. 801.
Gaarschaum 272.
Gaarschlacken (beim Frischen) 804.
Gabbro als Zuschlagsmaterial 211.
Ganister als feuerfestes Material 162.
Gärbstahl, Darstellung 1023.
Gasblasen im Flusseisen 843.
Gase als Brennstoffe 96.
„ , natürlich vorkommende 98.
„ als Brennstoff für Hochöfen 555.
„ im Eisen 312. 317. 843.
„ , siehe Luftgas, Wassergas, Hochofengichtgas, Bessemerverfahren.
Gaserzeuger 107.
Gaserzeuger, Beispiele der — 111.
Gasfänge (bei Hochöfen) 397.
Gasfeuerungen, Vortheile der — 97.
„ , Einrichtung der — 134.
Gasförmige Brennstoffe 96.
Gaskohlen 61.
Gebläse für Hochöfen 418.
„ für Kupolöfen 611.
„ „ Bessemer- und Thomashütten [910.
Gebundener Kohlenstoff 279.
Gefüge des schmiedbaren Eisens 640.
Gegenstromgesetz 52.
Generatoren, siehe Gaserzeuger.
Geschichtliches über Eisendarstellung 8.
Gestell 354. 380.
Gicht 126. 350.
Gichtaufzüge bei Hochöfen 470.
Gichtbühne „ „ 393.
Gichten, Grösse der — bei Hochöfen 484.
„ , Hängen der — bei Hochöfen 519.
Gichtgase, siehe Hochofengichtgase.
Gichtgasleitungen 409.
Gichtgasreinigung 411.
Gichtschwamm 309.
„ , Beseitigung des —s 487.
„ , Zusammensetzung des —s 592.
Gichtstaub, Reinigung von — 411.
„ , Zusammensetzung des —es 593.
Giesskrahne 854.
Giesspfanne 852.
Glashärte des Stahles 661.
Glaskopf 198. 202.
Glühen, Einflüsse auf die Kohlenstoffformen 277; auf die Härte des Gusseisens 330; auf die Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens 683; auf das Gefüge des Flusseisens 640.
Glühfrischen 256. 978.
Glühöfen, siehe Wärmöfen.
Glühstahl 978.
Gold und Eisen 308.
Granit als feuerfestes Material 162.
„ als Zuschlagsmaterial 211.
Graphit im Eisen 272.
Graphitbildung, Beeinflussung der — durch die chemische Zusammensetzung 272; durch die Abkühlung 274; Einfluss auf die Eigenschaften des Eisens 283.
Graphittiegel 165. 868.
Graueisen, siehe Roheisen.
Grauspiegel 345.
„ , Analysen 346.
Greiner und Erpfs Kupolofen 618.
Grobbleche 1032.
Grobeisen 1024.
Grobspiegel 345.
Grossbritanniens Eisenhüttenbetrieb 17.
Gusseisen, Begriff 4. 325.
Gussformen für Formguss 859.
„ für Blöcke 861.
„ „ steigenden Guss 849. 863.
Gussstahl 865.
Güteziffer 665.

H.

Hämmer 711.
Härtbarkeit 657.
Härte, abhängig vom Kohlenstoffgehalte [283.
„ Siliciumgehalte 287.
„ Phosphorgehalte 289.
„ Mangangehalte 298.
„ Chromgehalte 303.
„ Wolframgehalte 305.
Härte des schmiedbaren Eisens 657.
Härten des Stahles; chemischer Vorgang [279.
„ ; Verfahren 661. 663.
„ ; Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften 680.
Härtungskohle 278.
„ , Einfluss auf die Eigenschaften des Eisens 282.
Halbgasfeuerungen 152.
Halbspiegeleisen 345.
Haldys Verkokungsofen 83.
Hammerschlag 254.
Hartguss 275.
Hartkörner 695.
Heissgaarer Gang beim Hochofen 519.
Herdfrischen, siehe Frischfeuer.
Hochofen, Geschichtliches 348.
„ , innere Form des —s 350.
„ mit offener und geschlossener Brust 358.
„ , Regeln für den Entwurf des Profils 360.
„ , Bau des —s 366.
„ mit Rauhgemäuer 366.
„ mit Blechmantel 371.
„ mit freistehendem Schachte 374.
„ , Schacht des —s 377.
„ , Rast, Gestell, Boden des —s 378.
„ , Anblasen des —s 477.
„ , Arbeiten am — 481.
„ , Ausblasen des —s 489.
„ , Temperatur im — 497.
Hochofenbeschickung, Berechnung der — 534.
Hochofengebläse 418.
Hochofengichtgase 100. 581; siehe auch Gasfänge, Gichtgasleitung, Gichtgasreinigung.
Hochofengichtstaub 593.
Hochofenschlacken, Zusammensetzung bei Gaar- und Rohgang 514; beim Betriebe auf Siliciumeisen 524; auf Graueisen mit Holzkohlen 525; auf Graueisen mit Koks 527; auf Weisseisen 529; auf Spiegeleisen 531; auf Eisenmangan 533.
„ , Verwendung 582.
Hochofenschmelzen, chemischer Verlauf 490.
„ , Einfluss der Winderhitzung 510; der Windpressung und Windmenge 514.
„ , Wärmebilanz 556.
„ , Betriebsergebnisse 566.
Hoffmann-Ottos Verkokungsofen 88.
Holz 53.
„ Verkohlung des —es 67.
„ beim Hochofenbetriebe 555.
Holzkohle, Eigenschaften 71.
„ , Darstellung 67.
„ beim Hochofenbetriebe 549.
Holzkohleneisen, siehe Frischfeuereisen.
Hosenröhren-Winderhitzer 436.

I.

Ireland-Kupolofen 616.
Iridium und Eisen 308.
Italiens Eisenhüttenbetrieb 30.

K.

Kaliber, Begriff 732.
„ , Formen der — 760.
„ , Abnahmecoëfficient der — 761.
Kalium und Eisen 310.
Kalk als feuerfestes Material 166.
„ beim Thomasfrischen 914.
Kalkelend 488.
Kalkstein als Zuschlag 208.
Kaltbiegeprobe 701.
Kaltbruch, durch Phosphor erzeugt 290; durch Arsen und Antimon erzeugt 305; durch Zinn erzeugt 306.
Kaltwalzen des Eisens 678.
Kammwalzen 737.
Kanadas Eisenhüttenbetrieb 30.
Karbidkohle, Begriff 275.
„ , Einfluss auf die Eigenschaften des Eisens 282.
Kehrwalzwerke 738.
Kiesabbrände 206.
Kieselsäure, Rolle in den Schlacken 182.
„ , haarförmige in Hochöfen 595.
Kieselschiefer als feuerfestes Material 162.
Kleinbessemerei 892.
„ , Birnen dafür 900.
Kleingefüge des Eisens 250.
„ , Abbildungen 282.
Kleinspiegel 346.
Kobalt und Eisen 301.
Kohlendioxyd, siehe Kohlensäure.
Kohleneisenstein 197.
Kohlenoxyd, Verhalten als Reductionsmittel 35. 264.
„ , Verbrennungswärme 46.
„ und Eisen 316.
„ , Zerfallen auf Eisenoxyden 267.
Kohlensack 353.
Kohlensäure, Zerlegung durch Kohle 40.
„ , Einwirkung auf metallisches Eisen 35.
„ , Gehalt des Luftgases an — 103.
„ , Gehalt des Wassergases an — 116.
Kohlenstoff, Verhalten als Reductionsmittel 34. 265.
„ , Verhalten beim Verbrennen 37.
„ , Verbrennungswärme 46.
„ , Ablagerung aus Kohlenoxyd 267.

Kohlenstoff im Eisen 268.
„ , Formen des —s 271.
„ , amorpher 279.
„ , gebundener 279.
„ , Einfluss auf die Eigenschaften des Eisens 282; auf die Festigkeit des Roheisens 331, des schmiedbaren Eisens 668; auf das Gefüge des schmiedbaren Eisens 640; auf die Schmiedbarkeit 643; auf die Schweissbarkeit [651.
Kohlenstoffziegel 170.
Kohlenwasserstoffe, Verhalten beim Verbrennen 42.
„ , Verbrennungswärme 46.
Kohlung des Flusseisens 893.
Koks, Eigenschaften 94.
„ , Darstellung 73.
„ , beim Hochofenbetriebe 549.
Koksausdrückmaschine 93.
Koksöfen, siehe Verkokungsöfen.
Koksofengase 100.
Kreissägen 1039.
Krigars Kupolofen 617.
Krystallisation des Eisens 251.
Kühlungen, Allgemeines 158.
„ bei Hochöfen 384.
Kühlwasser, Menge des —s bei Hochöfen 393; bei Puddelöfen 808.
Kupfer und Eisen 300.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit 646; auf die Schweissbarkeit 653; auf die Festigkeitseigenschaften 674.
Kupolöfen 608.
Kupolofengebläse 611.
Kupolofengichtgase 625.
Kupolofenschlacken 624.
Kupolofenschmelzen 619.
„ , chemischer Verlauf 621.
Kuppelungen bei Walzwerken 737. 757.

L.

Lancashirefrischen 796.
Lancashire-Frischfeuer 794.
Landoreverfahren 956 (Fussanmerkung).
Langens Gasfang 405.
Lauthsches Walzwerk 751.
Legeeisen (bei Puddelöfen) 808.
Legirungen des Eisens 247; siehe auch Chrom, Wolfram, Nickel u. s. w.
Liaserz 200.
Lignit 58.
Literatur über Eintheilung, Geschichtliches, Statistisches 30; über Verbrennung, Reduction, Wärmeerzeugung, Wärmeabgabe 52; über Brennstoffe 119; über Oefen und feuerfeste Materialien 171; über Schlacken 191; über Erze, Zuschläge und ihre Vorbereitung 245; über das metallurgisch-chemische Verhalten des Eisens und seiner Begleiter 318; über Roheisen 347; über den Bau der Hochöfen nebst Zubehör 416; über Erzeugung, Erhitzung und Fortleitung des Gebläsewindes bei Hochöfen 468; über Gichtaufzüge 476; über das Hochofenschmelzen 577; über die Nebenerzeugnisse beim Hochofenbetriebe 597; über Eigenschaften und Prüfung des schmiedbaren Eisens 707; über Hämmer, Pressen, Walzwerke, Luppenquetschen 776; über Schweisseisendarstellung 835; über Flusseisendarstellung 974; über Glühfrischen 991; über Cementstahldarstellung 1003; über die Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens 1041.
Lochen, Einfluss auf die Festigkeit des schmiedbaren Eisens 678.
Luftgas 101. 103.
Lungern 841.
Luppe 774. 782.
„ , Zängen der —n 821.
Luppenmühle 774.
Luppenquetsche 774.
Luppenwalzwerk 736.
Lürmanns Schlackenform 359. 388.

M.

Maccos Winderhitzer 445.
Magnesium und Eisen 310.
Magnesit als feuerfestes Material 168.
Magneteisenerze 204.
Mangan, Verbrennungswärme 48.
„ und Eisen 296.
„ , Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt 270; auf die Graphitbildung 273; auf den Schwefelgehalt 293; auf die Schmelztemperatur 298; auf die Härte 298. 657; auf die Festigkeit im Allgemeinen 299; auf die Festigkeit des Roheisens 331, des schmiedbaren Eisens 669; auf das Gefüge des schmiedbaren Eisens 640; auf die Schmiedbarkeit 647; auf die Schweissbarkeit 653; auf die Härtbarkeit 660.
„ , Rolle beim Frischfeuerbetriebe 799; beim Puddeln 817; beim Tiegelstahlschmelzen 874; beim Bessemern und beim Thomasverfahren 912. 929; beim Martinverfahren 957; beim Glühfrischen 981.
„ Zusatz von — als sauerstoffentziehendes Mittel bei der Flusseisendarstellung 846.
Manganeisen, siehe Eisenmangan.
Manganerze 207.
Manganstahl 657. 660. 670. 682.
Manometer 460.
Martinmetall 971.
Martinofen 947.
Martinschlacken 964. 973.
Martinverfahren, Allgemeines 945.
„ , Arbeitsverfahren 955.
„ , chemischer Verlauf 960.
„ , Betriebsergebnisse 968.

Masse, feuerfeste — 164.
Massezustellung bei Hochöfen 382.
Massicks und Crooks Winderhitzer [448.
Matteisen 343.
Meilerverkohlung des Holzes 67; der Steinkohlen 74.
Mikroskopische Untersuchungen des Eisens 250.
Minette 200.
Mischgas 105.
Mitisguss 867.
„ , Ofen für Darstellung des —es 873.
„ , Giesspfanne für — 877.
Möller 481.
Molybdän und Eisen 308.
Mörtel, feuerfester 170.
Mřazeks Berechnung der Hochofenbeschickung 536.

N.

Natrium und Eisen 310.
Naturgas 98.
Naturhärte des Stahles 650.
Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes [581.
Nickel und Eisen 301.
Nickel, Einfluss auf die Schmiedbarkeit 647; auf die Schweissbarkeit 653; auf die Härte 658; auf die Festigkeitseigenschaften 671.
Nickelstahl 658. 1035.

O.

Oberfeuer bei Hochöfen 494.
Oberflächenhärtung 998.
Oefen 123.
„ , Mauerwerk der — 157.
Oesterreich-Ungarns Eisenhüttenbetrieb [25.
Ofenbruch 592.
Oolithische Erze 199. 202.
Osmium und Eisen 308.
Ovalkaliber 764.
Oxydation des Eisens 254.

P.

Packet, Packetiren 1006.
Palladium und Eisen 308.
Palms Verkokungsofen 81.
Panzerplattendarstellung 1034.
Parrys Gasfang 401.
Pennsylvanien, Naturgas in — 98.
Periodische Kaliber 769.
Pernots Drehofen 155.
Pforts Gasfang 398.
Phosphor, Verbrennungswärme 48.
„ und Eisen 288.
„ , Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt 270; auf die Festigkeitseigenschaften des Roheisens 331, des schmiedbaren Eisens 673; auf das Gefüge des schmiedbaren Eisens 640; auf die Schmiedbarkeit 644; auf die Schweissbarkeit 652.
„ , Abscheidung aus dem Eisen, allgemeine Gesetze 289; aus dem Roheisen 628.
Piats Tiegelschmelzofen 601.
Piëtzkas Puddelofen 815.
Platin und Eisen 308.
Platz' Berechnung der Hochofenbeschickung 546.
Pochwerke 212.
Pressen 728.
Prüfung des schmiedbaren Eisens 697.
Puddelmaschinen 823.
Puddeln, Allgemeines 804.
„ , Arbeitsverfahren 816.
„ , Zuschläge beim — 821.
„ , chemischer Verlauf 825.
„ , Betriebsergebnisse 830.
„ , Erzeugnisse 832.
„ , Drehpuddeln 832.
Puddelofen 806.
Puddelofengase, Zusammensetzung 825.
Puddelschlacken, „ 829. 832.
Puddingstein als feuerfestes Material 161.
Purpurerze 206.
Pyrometer 462.

Q.

Quadersandstein als feuerfestes Material [161.
Qualitätsziffer 665.

R.

Rasenerze 201.
Rast des Hochofens 353. 382.
Rastwinkel 364.
Rauhgemäuer bei Hochöfen 366.
Reduction, Allgemeines 32.
„ durch Kohle und Kohlenoxyd 34.
„ durch Wasserstoff 36. [264.
Regenerativfeuerungen, siehe Siemensfeuerungen.
Regulatoren für Gebläse 427.
Reitel 717.
Rengel 518.
Rennfeuer 781; Betrieb 782.
Rennfeuerschlacken 785.
Reversirwalzwerke 738.
Ringöfen (zum Rösten und Kalkbrennen [242).
Roheisen, Benennung 3.
„ , Eintheilung 325.
„ , innere Anordnung 326.
„ , Saigerung 328.
„ , Schmelztemperatur 329.
„ , specifisches Gewicht 328.
„ , Härte 329.
„ , Festigkeitseigenschaften 330.
„ , graues 4. 333; Analysen 340. 514; Darstellung 524.
„ , gaares 338.
„ , halbirtes 338. 344.
„ , grelles 339.
„ , weisses 4. 342; Analysen 346; Darstellung 527.
„ , Erzeugungskosten 573.
„ , Umschmelzen 597.

Roheisen, Feinen 626.
„ , Entphosphorung 628.
„ , Entschweflung 630.
„ , Literatur über — 347.
Roheisengattungen 325.
„ Entstehungsbedingungen der — 523.
Rohgang beim Hochofen 516.
„ beim Frischen 797. 801.
Rohschienen 832; Schlackengehalt der — 779.
Rohschienenwalzwerk 736; Arbeit am — 821.
Rohschlacken bei Schweisseisendarstellung 804.
Rollöfen 1008.
Rostbildung beim Eisen 259.
Rösten 218; in Haufen und Stadeln 225; in Oefen 227.
Röstöfen 233.
Rothbruch, Begriff 643.
„ , hervorgerufen durch Sauerstoff 254. 645; durch Schwefel 295. 645; durch Kupfer 300. 646; durch Antimon und Arsen 305. 646; durch Zinn 306. 647; durch Silicium 644.
Rotheisenerze 202.
Rundeisenkaliber 766.
Russkohle 61.
Russlands Eisenhüttenbetrieb 27.

S.

Saigerung der Schlacken 177.
„ des Eisens 250.
„ „ Roheisens 328.
„ „ Flusseisens 838. 842.
Sandkohlen 61.
Sauerstoff im Eisen 248. 252.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit 645; auf die Schweissbarkeit 652.
Saugen des flüssigen Eisens 841.
Saugkupolöfen 611.
Saumspiegel 345.
Schabotte 712.
Schachtöfen 126.
Schamotteziegel 163.
Scheeren 1035.
Schienen, siehe Eisenbahnschienen.
Schirbel 796.
Schlacke als Ursache von Faulbruch 649.
Schlacken, Allgemeines 174.
„ , Eintheilung 178.
„ , Schmelztemperatur, Flüssigkeitsgrad 179.
„ , Gefüge 187.
„ , Farbe 189.
„ , specifisches Gewicht 190.
„ , siehe Hochofenschlacken, Rennfeuerschlacken, Kupolofenschlacken, Frischfeuerschlacken u. s. f.
Schlackencement 586.
Schlackenform 359. 388.
Schlackengehalt des Schweisseisens 779.
Schlackensand 583.
Schlackenspur bei Hochöfen 380.
Schlackentrift 358.
Schlackenwolle 585.
Schlackenziegel 588.
Schlagprobe 702.
Schleppwalzen 732.
Schmelztemperatur des Eisens 247.
„ , Einfluss des Kohlenstoffgehaltes 282; des Siliciumgehaltes 287; des Phosphorgehaltes 289; des Schwefelgehaltes 295; des Mangangehaltes 298; des Chromgehaltes 303; des Wolframgehaltes 304.
Schmelztemperatur des Roheisens 329.
„ des schmiedbaren Eisens 656.
„ der Schlacken 179.
Schmidts Absperrvorrichtung für Winderhitzer 453.
Schmiedbarer Guss 979; Zusammensetzung des —es 990.
Schmiedbares Eisen, Unterschied von Roheisen 3.
„ , Gefüge 640.
„ , Schmiedbarkeit und Dehnbarkeit 643.
„ , Schweissbarkeit, Härte und Härtbarkeit 657.
„ , Schmelztemperatur 656.
„ , Festigkeitseigenschaften 664.
„ , Verbrennen des —s 694.
„ , Prüfung 697.
Schmiedbarkeit 643.
Schmiedeeisen, Begriff 6. 639.
Schmiedekohlen 62.
Schmieden, Arbeit des —s 725.
Schmiedeprobe 699.
Schrumpfmaass beim Walzen 770.
Schwalarbeit 795.
Schwanzhammer 717.
Schwedens Eisenhüttenbetrieb 28.
Schwefel und Eisen 290.
„ , Verhalten beim Rösten 219.
„ , Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt 270. 296; auf die Graphitbildung 273; auf die Schmiedbarkeit 645; auf die Schweissbarkeit 652; auf die Festigkeitseigenschaften 674.
„ , Abscheidung durch Basen 291.
„ , „ aus Roheisen 630.
„ , Verhalten beim Windfrischen 923.
„ „ im Martinofen 961.
„ „ beim Glühfrischen 986.
„ „ „ Cementiren 1001.
Schweissbarkeit 650.
Schweisseisen, Begriff 5. 639.
„ , Schlackengehalt 779.
„ , Darstellung aus Erzen 781; aus Roheisen 791. 804. 832.
„ , Verarbeitung 1004.
Schweissfeuer 1007.
Schweissöfen 1009.
Schweissofenschlacke 1014.
Schweisspulver 654.

Schwindmaass 841.
Schwindungshohlräume im Flusseisen 840.
Schwungrad bei Walzwerken 759.
Seeerze 201.
Sehniges Eisen 641.
Siemensfeuerungen 136.
„ für Tiegelstahlöfen 870.
Siemens' Verfahren der Schweisseisendarstellung 789.
„ der Flusseisendarstellung 864.
Silber und Eisen 308.
Silicium, Verbrennungswärme 48.
Silicium und Eisen 284.
„ , Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt 270; auf die Graphitbildung 272; auf die Gasentwickelung 312; auf die Schmiedbarkeit 643; auf die Schweissbarkeit 651; auf die Festigkeitseigenschaften des Roheisens 331; des schmiedbaren Eisens 668.
„ als Zusatz zum Flusseisen 847.
Siliciumeisen 336.
„ , Analysen 340.
„ , Darstellung 523.
Siliciumspiegel 345; Analysen 347.
Sinterkohlen 61.
Smets Verkokungsofen 81.
Spaltwerk 1039.
Spaniens Eisenhüttenbetrieb 29.
Spatheisenstein 193.
Spezifisches Gewicht des Roheisens 328.
„ des schmiedbaren Eisens, Aenderung beim Härten und Anlassen 663.
Sphärosiderite 195.
Spiegeleisen 344.
„ Analysen 346; Darstellung 529.
„ als Zusatz bei der Flusseisendarstellung 893.
Spitzbogenkaliber 765.
Springers Puddelofen 815.
Sprödigkeit 665.
Staffelwalzen 770.
Stahl, Begriff 5. 639.
„ , Kohlenstoffgehalt des —es für verschiedene Zwecke 662.
„ , Härten und Anlassen des —es 659.
„ , siehe auch Flussstahl, Schweissstahl, Tiegelstahl, Bessemermetall, Thomasmetall, Martinmetall, Cementstahl, Gärbstahl.
Stahlerzeugung im Frischfeuer 798; im Puddelofen 806. 817.
Stahlstein 195.
Statistisches 13.
Staub in Gichtgasen 410; Zusammensetzung 593.
Staubsammler für Gichtgase 412.
Stauchen 726.
Stauchkaliber 766.
Steigen des Flusseisens 843.
Steigender Guss 849. 863.
Steinbrecher 214.
Steinkohle 59.
Steinkohle, Verkokung 73.
„ im Hochofen 551.
Stiche beim Walzen 761.
Stickstoff und Eisen 315.
Stirnhämmer 713.
Strecken 726.
Stück 785.
Stückofen 781; Betrieb der — 785.
Stückofenschlacke 788.
Sturzbleche 1033.
Sturzofen 610.

T.

Temperatur im Hochofen 497.
„ in der Bessemerbirne 888.
Temperkohle 277.
„ , Einfluss auf die Eigenschaften des Eisens 282.
Tempern 978.
Temperöfen 983.
Temperstahl 978. 981.
Thomasmetall 942.
Thomasschlacken 944.
Thomasverfahren, Allgemeines 887.
„ , äusserer Verlauf 912; chemischer und physikalischer Verlauf 928.
„ , Zusammensetzung des Roheisens beim — 913.
„ , Kalkverbrauch beim — 914.
„ , Nachblasen beim — 919.
„ , Schlacken beim — 935.
„ , Betriebsergebnisse beim — 940.
Thon als feuerfestes Material 163.
Thonschiefer als Zuschlag 210.
Tiegel, Herstellung 868.
Tiegelschmelzen für Roheisen 598.
Tiegelstahl, Eigenschaften 884.
Tiegelstahldarstellung 865; Arbeitsverfahren 874; chemischer Verlauf 879.
Tiegelstahlöfen 869.
Titan und Eisen 307.
„ im Hochofen 595.
Titansäure in Schlacken 186.
Torf 56.
„ Verkohlung 72.
„ beim Hochofenbetriebe 554.
Torfkohle 72.
Treibeisen 343.
Treiben (mit dem Hammer) 726.
Triowalzwerk, siehe Dreiwalzwerk.
Tümpel bei Hochöfen 358. 381.
„ , Kühlung des —s 391.

U.

Uchatiusstahl 867. 878.
Ueberhebvorrichtungen bei Walzwerken 754.
Ueberhitzen des Stahles 695.
Uebersetzter Gang bei Hochöfen 519.
Universalwalzwerk 770.
Unterwind bei Flammöfen 134.
„ bei Puddelöfen 810.

V.

Vanadium und Eisen 307.
Verbrennen des Eisens 694.
Verbrennung 32.
„ , vollständige und unvollständige 36.
Verbrennungstemperatur, Berechnung der — 49.
Vereinigte Staaten, Eisenhüttenbetrieb der — 15.
Vergasung der Brennstoffe 101. 103.
Verkohlung des Holzes 67.
„ des Torfes 72.
Verkokung der Steinkohle 74.
Verkokungsöfen 76; ältere 76; mit senkrechter Achse 79; mit wagerechter Achse 81; mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse 87.
„ , siehe auch Appolts Ofen, Smets Ofen u. s. f.
„ , Gase der — 100.
Verlorner Kopf (beim Giessen) 848.
Versetzungen in Hochöfen 488.
Verwittern der Erze 243.
Von Hoffs Gasfang 403.
Vorwalzen 761.

W.

Wärmeabgabe 52.
Wärmebilanz bei Hochöfen 556.
Wärmeerzeugung 44.
Wärmespeicher bei Siemensfeuerungen 136.
Wärmöfen für Flusseisenblöcke 1015.
Wallonfrischen 796.
Wallstein 358. 380.
Walzdraht, Darstellung 1025.
Walzen für Eisenwalzwerke, Durchmesser 733; Form und Abmessungen 740.
Walzenbund 740.
Walzenkalibrirung 760.
Walzenständer 741.
Walzenzugsmaschine 773.
Walzgerüst 735.
Walzlinie 761.
Walztische 754.
Walzwerke für Erze 213.
„ für Eisen 731.
Walzwerksgetriebe 758.
Walzwerkskuppelungen, Zweck 737.
„ , Einrichtung 757.
Walzwerkssohlplatten 759.
Walzwerksunterbau 759.
Wanzenbildung 294.
Wascheisen 584.
Wasserdampf, Einfluss auf Kohlenoxyd 42.
„ im Brenngase, Verdichtung 114.
„ in Gichtgasen 410.
„ im Hochofen 499.
Wassergas 116.
Wasserkühlungen, siehe Kühlungen.
Wasserstoff, als Reductionsmittel 36.
„ , Verhalten bei der Verbrennung 41.
„ , Einfluss auf Kohlensäure 42.
„ , Verbrennungswärme 46.
„ und Eisen 310.
Weisseisen, siehe Roheisen.
Westmans Röstofen 240.
Whitwells Winderhitzer 442.
Whitworths Giessverfahren 851.
Wiesenerze 201.
Wilkinsonöfen 611.
Windberechnung bei Hochöfen 464; bei Kupolöfen 612.
Winderhitzer bei Hochöfen 428.
„ , eiserne 430.
„ , steinerne 439; nach Whitwell 442; nach Cowper 446; nach Macco 445.
„ , Absperrvorrichtungen für — 450.
Winderhitzung, Einfluss auf das Hochofenschmelzen 510.
Windfrischen 886; siehe auch Bessemerverfahren, Thomasverfahren.
Windleitung bei Hochöfen 454.
Windmenge bei Hochöfen 464.
„ beim Windfrischen 910.
Windpressung, Messen der — 464.
„ , Einfluss auf den Schmelzgang des Hochofens 514.
Wismuth und Eisen 305.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit [647.
Wolfram und Eisen 304.
„ , Einfluss auf das Gefüge 640; auf die Schmiedbarkeit 648; auf die Schweissbarkeit 654; auf die Härte 657; auf die Härtbarkeit 660; auf die Festigkeit 671.
Wolframstahl 657.
„ , Darstellung 874.
Wootzstahl 877.

Z.

Zacken beim Frischfeuer 794.
Zängen der Luppen 821.
Zink und Eisen 308.
Zink, Verhalten im Hochofen 496. 592.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit 647; auf die Schweissbarkeit 653.
Zinkische Anbrüche im Hochofen 592.
Zinkoxyd im Hochofen 596.
Zinn und Eisen 305.
„ , Einfluss auf die Schmiedbarkeit 647; auf die Schweissbarkeit 653.
Zuschläge, Begriff 193.
„ , Arten der — 208.
Zustellen der Hochöfen 367.
Zweiwalzwerke 731.

Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.

Bayerische Staatsbibliothek München

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Ledebur, Adolf,

Handbuch der Eisenhüttenkunde für den Gebrauch im Betriebe wie zur Benutzung beim Unterrichte bearbeitet

Bd.: 3

Leipzig 1894

BHS I C 256 a-3
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11558215-5